

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PABRIK AMMUREA II  
PT. PETROKIMIA GRESIK**

Shofia Kholisatus Sa'adah  
NRP. 2215 105 014

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, M.T  
Danar Fahmi, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PABRIK AMMUREA II  
PT. PETROKIMIA GRESIK**

Shofia Kholisatus Sa'adah  
NRP. 2215 105 014

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, M.T  
Danar Fahmi, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



***FINAL PROJECT - TE 141599***

***PROTECTION COORDINATION STUDY ON AMMUREA II  
PLANT OF PT. PETROKIMIA GRESIK***

Shofia Kholisatus Sa'adah  
NRP. 2215 105 014

*Advisor*

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T  
Danar Fahmi, S.T., M.T

***DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017***

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Studi Koordinasi Proteksi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik”**, adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan – bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



Shofia Kholisatus Sa'adah  
NRP. 2215105 014

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PABRIK  
AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

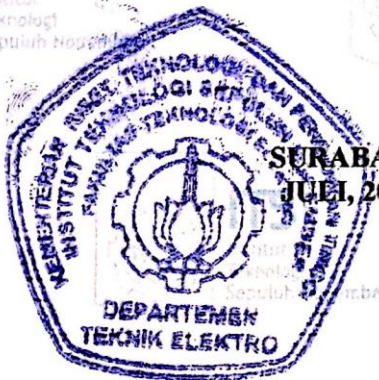
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dr. Ir. Margo Pujiyantara, M.T**  
**NIP. 19660318 199010 1 001**

**Dosen Pembimbing II**

**Daniar Fahmi, S.T., M.T**  
**NIP. 19890925 201404 1 002**



# **STUDI KOORDINASI PROTEKSI PABRIK AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK**

**Nama Mahasiswa** : Shofia Kholisatus Sa'adah  
**NRP** : 2215 105 014  
**Dosen Pembimbing 1** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T  
**NIP** : 19660318 199010 1 001  
**Dosen Pembimbing 2** : Daniar Fahmi, S.T., M.T  
**NIP** : 19890925 201404 1 002

## **ABSTRAK**

Dalam rangka mendukung program pemerintah untuk meningkatkan produksi pertanian dan ketahanan pangan Nasional, PT. Petrokimia Gresik sebagai produsen pupuk yang cukup besar di Indonesia haruslah meningkatkan kualitas dan kuantitas produksinya. Salah satu inovasi yang dilakukan adalah dengan mendirikan sebuah pabrik baru, yaitu Pabrik Ammonia Urea II (Ammurea II) dengan suplai listrik dari pembangkit baru pula yaitu GGCP (Gresik *Gas Cogeneration Plant*) 1x26,8 MW.

Salah satu hal yang perlu dipertimbangkan pada pembangunan sebuah pabrik baru adalah sistem kelistrikannya. Tidak menutup kemungkinan bahwa pada sistem kelistrikan tersebut terjadi gangguan *short circuit*, *overload*, dan gangguan lainnya yang akan menyebabkan peralatan – peralatan listrik yang terpasang menjadi rusak dan membuat sistem kelistrikan menjadi kurang handal.

Oleh karena itu, untuk menanggulangi hal – hal tersebut, perlu dilakukan studi koordinasi proteksi pada Pabrik Ammurea II. Untuk melakukan studi koordinasi proteksi ini perlu dilakukan pemodelan sistem kelistrikan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0, kemudian menganalisa arus hubung singkat minimum dan maksimum. Dan selanjutnya dilakukan *setting* rele *overcurrent* dan rele *groundfault* yang disimulasikan di *software* ETAP 12.6.0. *Grading time* yang dipergunakan adalah 0,2 s. Sehingga dihasilkan sebuah desain koordinasi proteksi yang benar sesuai *standart* IEEE-242.

**Kata Kunci** : Proteksi, Rele *Overcurrent*, Rele *Groundfault*

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## ***PROTECTION COORDINATION STUDY ON AMMUREA II PLANT OF PT. PETROKIMIA GRESIK***

***Student Name*** : Shofia Kholisatus Sa'adah  
***ID Number*** : 2215 105 014  
***Advisor I*** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T  
***ID Number*** : 19660318 199010 1 001  
***Advisor II*** : Daniar Fahmi, S.T., M.T  
***ID Number*** : 19890925 201404 1 002

### ***ABSTRACT***

*In order to support government's programs to increase agricultural production and national food security, PT. Petrokimia Gresik as a leading fertilizer company had to increase its quality and quantity. One of innovation that have been done is building a new plant, Ammonia Urea II (Ammurea II) plant which is supplied by a new power plant GGCP (Gresik Gas Cogeneration Plant) 1x26,8 MW.*

*One thing that need to be considered for constructing a new plant is the electrical system. It is possible that on the electrical system there are some failures, such as short circuit, overload, and the others that would damaged the installed electrical equipments and make the electrical system less reliable.*

*Therefore, to avoid that, it is necessary to do protection coordination study on Ammurea II plant of PT. Petrokimia Gresik. First step is modeling the electrical system of Ammurea II Plant PT. Petrokimia Gresik using ETAP 12.6.0 software. Second, analyzing the minimum short circuit (line to line 30 cycle) and the maximum short circuit (3 phase 4 cycle). And the third is set the overcurrent and groundfault relay as a protective electrical equipment. This setting obtained from the manual calculation and then simulated in software ETAP 12.6.0. The grading time that used is 0,2 s. So, we get the right and correct coordination protection according to IEEE-242 standard.*

***Keyword*** : Protection, Overcurrent relay, Groundfault relay



----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Program Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul :

**“ Studi Koordinasi Proteksi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik ”**

Dengan terselesainya Tugas Akhir ini, Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiatara, M.T dan Bapak Daniar Fahmi, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing penulis hingga terselesainya tugas akhir ini
2. Orang tua penulis yang senantiasa mendo'akan dan memberikan dukungan dengan tulus tiada henti
3. Adik penulis, Armila Mazidatur Rosyidah, yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan
4. Bapak Yudi Fian, *Engineer* di Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik yang membantu penulis mendapatkan data – data kelistrikan Pabrik Ammurea II
5. Fidy Eka Prahesti, sahabat, teman seperjuangan, dari D3 sampai sekarang sama sama berjuang wisuda 116 yang selalu menemani, selalu mendukung, memberi motivasi, semangat, dan nasihat
6. Fitri Nur Eka Fauzi, sahabat, kakak, teman seangkatan, teman sekos, yang selalu memberi nasihat dan semangat
7. Dany Setyawan, Dirman Hariono Santosa, Angga Silahudin Hudaya, M. Infaq Dahlan, Khalid Oki Wibowo, Aji Istanto Rambono, Alin Wahyu Setiawan dan semua Keluarga Elektro Industri '16 yang selalu memberikan do'a, semangat, dan dukungan
8. Teman – teman setopik Tugas Akhir Proteksi, Vania Aprilia, Aprilia Intan, Avonthea Sisna, Imam Suri Tauladan, Putu Erlangga, Ilham Rosyadi, Wahyu Kurniawan, Cahya Surya Utama yang senantiasa memberi dukungan dan semangat serta membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir

9. Saudara – saudara SMADA KEDIRI Angkatan 2012, Galuh Ratnaningtyas, Firda Nasuha, Dini Atika Fadilla, Dimas Yoan, Ivan Picass, Nico Bagus Putranto, Achmad Umar Azmi, Fahmy Zulkarnaen, Oon Suhendriyanto, M. Irza Yoga yang selalu memberi semangat dan motivasi untuk segera menyelesaikan tugas akhir
10. Teman – teman seperjuangan, Lintas Jalur Teknik Elektro ITS angkatan 2015 yang selalu saling menguatkan satu sama lain
11. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL</b> .....	i
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika .....	3
1.7 Relevansi .....	4

### BAB II GANGGUAN DAN PERALATAN PENGAMAN SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Penyebab Terjadinya Gangguan Sistem Tenaga Listrik .....	6
2.3 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat .....	11
2.3.1 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa .....	11
2.3.2 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa .....	12
2.3.3 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah .....	13
2.3.4 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah .....	13
2.4 Peralatan Pengaman Sistem Tenaga Listrik .....	14
2.4.1 <i>Setting</i> dan Koordinasi Peralatan Pengaman Sistem Tenaga Listrik .....	14
2.4.2 Trafo Arus ( <i>Current Transformer</i> ) .....	15
2.4.3 Rele Sebagai Pengaman Tenaga Listrik .....	15
2.4.4 Elemen Dasar Rele Pengaman .....	15
2.4.5 Syarat – Syarat Rele Sebagai Pengaman Tenaga Listrik .....	17

2.5	Rele Arus Lebih ( <i>Overcurrent Relay</i> ) .....	19
2.5.1	Rele <i>Overcurrent Invers Time</i> (Waktu Terbalik) .....	20
2.5.2	Rele <i>Overcurrent Instantaneous Time</i> .....	21
2.5.3	Rele <i>Overcurrent Definite Time</i> .....	21
2.5.4	Rele <i>Overcurrent Invers Definite Minimum Time</i> .....	22
2.6	<i>Setting</i> Rele <i>Overcurrent</i> .....	23
2.6.1	<i>Setting</i> Rele <i>Overcurrent Invers Time</i> .....	23
2.6.2	<i>Setting</i> Rele <i>Overcurrent Instantaneous Time</i> .....	25
2.7	Rele <i>Groundfault</i> .....	26
2.8	Koordinasi Rele Berdasarkan Arus dan Waktu .....	26

### **BAB III SISTEM KELISTRIKAN PABRIK AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK**

3.1	Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	27
3.2	Sistem Pembangkitan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	29
3.3	Sistem Distribusi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	30
3.4	Data Beban pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	33
3.5	Arus Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	36
3.6.1	Arus Hubung Singkat Minimum .....	37
3.6.2	Arus Hubung Singkat Maksimum .....	38

### **BAB IV HASIL SIMULASI KOORDINASI PROTEKSI PABRIK AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK**

4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	41
4.2	Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	41
4.3	Sistem Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Gangguan Fasa .....	44
4.4	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 1 .....	44
4.4.1	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 1A .....	45
4.4.2	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 1B .....	53
4.5	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 2 .....	63

4.5.1	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 2A .....	64
4.5.2	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 2B .....	67
4.6	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Tipikal 3 .....	77
4.7	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Gangguan Fasa ke Tanah .....	88
4.8	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1 .....	89
4.8.1	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1A .....	89
4.8.2	Koordinasi Proteksi Rele <i>Overcurrent</i> Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1B .....	95
 <b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan .....	101
5.2	Saran .....	101
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		
<b>LAMPIRAN A SINGLE LINE DIAGRAM PABRIK</b>		
<b>AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK</b> .....		A-1
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b> .....		B-1

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## **TABLE OF CONTENT**

<b>COVER</b> .....	i
<b>STATEMENT OF AUTHENTICITY</b> .....	iii
<b>APPROVAL SHEET</b> .....	v
<b>ABSTRACT ID</b> .....	vii
<b>ABSTRACT EN</b> .....	ix
<b>PREFACE</b> .....	xi
<b>TABLE OF CONTENT</b> .....	xiii
<b>ILLUSTRATION</b> .....	xvii
<b>TABELS</b> .....	xix

### **CHAPTER I INTRODUCTION**

1.1 Background .....	1
1.2 Problems.....	2
1.3 Scope of Problems .....	2
1.4 Purpose .....	2
1.5 Methodology .....	3
1.6 Systematic .....	3
1.7 Relevance .....	4

### **CHAPTER II DISTURBANCE AND SAFETY EQUIPMENT OF POWER SYSTEM**

2.1 Disturbance on Power System .....	5
2.2 Cause of Power System Disturbance .....	6
2.3 Calculation of Short Circuit .....	11
2.3.1 3 Phase Short Circuit .....	11
2.3.2 2 Phase Short Circuit .....	12
2.3.3 2 Phase to Ground Short Circuit.....	13
2.3.4 Phase to Ground Short Circuit .....	13
2.4 Safety Equipment of Power System .....	14
2.4.1 Setting and Safety Equipment of Power System Coordination .....	14
2.4.2 Current Transformer .....	15
2.4.3 Relay as Safety Equipment of Power System .....	15
2.4.4 Basic Element of Relay Protection .....	15
2.4.5 Terms of Relay as Safety Equipment of Power System .....	17



2.5	<i>Overcurrent Relay</i> .....	19
2.5.1	<i>Overcurrent Relay Invers Time</i> .....	20
2.5.2	<i>Overcurrent Relay Instantaneous Time</i> .....	21
2.5.3	<i>Overcurrent Relay Definite Time</i> .....	21
2.5.4	<i>Overcurrent Relay Invers Definite Minimum Time</i> .....	22
2.6	<i>Setting Overcurrent Relay</i> .....	23
2.6.1	<i>Setting Overcurrent Relay Invers Time</i> .....	23
2.6.2	<i>Setting Overcurrent Relay Instantaneous Time</i> .....	25
2.7	<i>Groundfault Relay</i> .....	26
2.8	<i>Relay Coordination Base on Current and Time</i> .....	26

### **CHAPTER III ELECTRICAL SYSTEM OF AMMUREA II PLANT PT. PETROKIMIA GRESIK**

3.1	<i>Electrical System of Ammurea II Plant PT. Petrokimia Gresik</i> .....	27
3.2	<i>Supply System of Ammurea II Plant PT. Petrokimia Gresik</i> ....	29
3.3	<i>Distribution System of Ammurea II Plant PT. Petrokimia Gresik</i> .....	30
3.4	<i>Load Data on Ammurea II Plant PT. Petrokimia Gresik</i> .....	33
3.5	<i>Short Circuit on Electrical System of Ammurea II Plant PT. Petrokimia Gresik</i> .....	36
3.6.1	<i>Minimum Short Circuit Current</i> .....	37
3.6.2	<i>Maximum Short Circuit Current</i> .....	38

### **CHAPTER IV SIMULATION RESULT OF PROTECTION COORDINATION ON AMMUREA II PLANT PT. PETROKIMIA GRESIK**

4.1	<i>Modelling of Electrical System Ammurea II Plant PT. Petrokimia Gresik</i> .....	41
4.2	<i>Typical Choice of Relay Protection Coordination on Ammurea II Plant PT. Petrokimia Gresik</i> .....	41
4.3	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination System on Phase Disturbance</i> .....	44
4.4	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination Typical 1</i> .....	44
4.4.1	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination Typical 1A</i> .....	45
4.4.2	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination Typical 1B</i> .....	53
4.5	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination Typical 2</i> .....	63

4.5.1	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination Typical 2A .....</i>	64
4.5.2	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination Typical 2B .....</i>	67
4.6	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination Typical 3 .....</i>	77
4.7	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination System on Phase to Ground Disturbance .....</i>	88
4.8	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination System on Phase to Ground Disturbance Typical 1 .....</i>	89
4.8.1	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination System on Phase to Ground Disturbance Typical 1A.....</i>	89
4.8.2	<i>Overcurrent Relay Protection Coordination System on Phase to Ground Disturbance Typical 1B .....</i>	95
 <b>CHAPTER V CLOSING</b>		
5.1	<i>Conclusion .....</i>	101
5.2	<i>Suggestion .....</i>	101
 <b>BIBLIOGRAPHY .....</b>		103
<b>ENCLOSURE A SINGLE LINE DIAGRAM OF AMMUREA II PLANT PT. PETROKIMIA GRESIK .....</b>		A-1
<b>BIOGRAPHY .....</b>		B-1

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Rangkaian Ekuivalen <i>Single Phase</i> Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa .....	11
<b>Gambar 2.2</b>	Rangkaian Sederhana Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa .....	12
<b>Gambar 2.3</b>	Rangkaian Sederhana Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah.....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Sistem Kerja Rele Pengaman .....	15
<b>Gambar 2.5</b>	Elemen Dasar Rele Pengaman .....	16
<b>Gambar 2.6</b>	Selektifitas Rele .....	18
<b>Gambar 2.7</b>	Karakteristik Rele <i>Overcurrent Invers</i> <i>Time</i> .....	20
<b>Gambar 2.8</b>	Macam – Macam Kurva <i>Invers Time</i> .....	21
<b>Gambar 2.9</b>	Karakteristik Rele <i>Overcurrent</i> <i>Instantaneous Time</i> .....	21
<b>Gambar 2.10</b>	Karakteristik Rele <i>Overcurrent Definite</i> <i>Time</i> .....	22
<b>Gambar 2.11</b>	Karakteristik Rele <i>Overcurrent Invers</i> <i>Definite Minimum Time</i> .....	22
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Single Line Diagram</i> Sederhana PT. Petrokimia Gresik .....	27
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Single Line Diagram</i> Sederhana Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	28
<b>Gambar 4.1</b>	Tipikal Koordinasi Proteksi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	43
<b>Gambar 4.2</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1A.....	45
<b>Gambar 4.3</b>	<i>Time Current Curve</i> Tipikal 1A .....	50
<b>Gambar 4.4</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1B .....	54
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Time Current Curve</i> Tipikal 1B .....	61
<b>Gambar 4.6</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2A.....	64
<b>Gambar 4.7</b>	<i>Time Current Curve</i> Tipikal 2A .....	66
<b>Gambar 4.8</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2B .....	67
<b>Gambar 4.9</b>	<i>Time Current Curve</i> Tipikal 2B .....	74
<b>Gambar 4.10</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 3 .....	78
<b>Gambar 4.11</b>	<i>Time Current Curve</i> Tipikal 3 .....	86
<b>Gambar 4.12</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1A (Gangguan L-G) .....	90
<b>Gambar 4.13</b>	<i>Time Current Curve</i> Rele <i>Groundfault</i> Tipikal 1A .....	93

<b>Gambar 4.14</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1B (Gangguan L-G) .....	95
<b>Gambar 4.15</b>	<i>Time Current Curve</i> Rele Groundfault Tipikal 1B .....	99

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Jenis Gangguan Hubung Singkat .....	8
<b>Tabel 2.2</b>	Konstanta <i>Setting Time Dial</i> Rele SEPAM <i>Series 10</i> .....	24
<b>Tabel 2.3</b>	Konstanta <i>Setting Time Dial</i> Rele GE Multilin 489 .....	25
<b>Tabel 3.1</b>	Data Spesifikasi Generator GGCP-1 .....	29
<b>Tabel 3.2</b>	Data Bus .....	30
<b>Tabel 3.3</b>	Data Transformator .....	31
<b>Tabel 3.4</b>	Data Kabel .....	32
<b>Tabel 3.5</b>	Data Beban Motor .....	34
<b>Tabel 3.6</b>	Data Beban <i>Static Load</i> .....	35
<b>Tabel 3.7</b>	Data Beban <i>Lump Load</i> .....	36
<b>Tabel 3.8</b>	Data Beban <i>Motor Operated Valve</i> .....	36
<b>Tabel 3.9</b>	Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle .....	37
<b>Tabel 3.10</b>	Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle .....	38
<b>Tabel 4.1</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan pada Bus 183-3-1-1 .....	51
<b>Tabel 4.2</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan pada Bus 21B-3-1-1 .....	51
<b>Tabel 4.3</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan pada Bus 164-3-1-1 .....	52
<b>Tabel 4.4</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan pada Bus 11A-3-1-1 (Tipikal 1) .....	62
<b>Tabel 4.5</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan pada Bus 20Kv MVSWGR 1-1-1 .....	63
<b>Tabel 4.6</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan pada Bus 33A-4-1-1 .....	75
<b>Tabel 4.7</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan pada Bus 188-3-1-1 .....	76
<b>Tabel 4.8</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan pada Bus 11A-3-1-1 (Tipikal 3) .....	87
<b>Tabel 4.9</b>	Sistem Pentanahan Peralatan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik .....	89
<b>Tabel 4.10</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan L-G pada Bus 183-3-1-1 .....	94
<b>Tabel 4.11</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan L-G pada Bus 164-3-1-1 .....	94
<b>Tabel 4.12</b>	<i>Sequence Viewer</i> Gangguan L-G pada Bus 11A-3-1-1 .....	100

**Tabel 4.13** *Sequence Viewer* Gangguan L-G pada Bus  
4-2-2-1 ..... 100

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Petrokimia Gresik merupakan pabrik dengan produksi pupuk terlengkap di Indonesia seperti Urea, ZA, SP-36, ZK, NPK Phonska, NPK Kebomas dan pupuk organik Petroganik. Tidak hanya memproduksi berbagai jenis pupuk, PT. Petrokimia Gresik juga memproduksi produk non pupuk, antara lain Asam Sulfat, Asam Fosfat, Amoniak, Dry Ice, Aluminum Fluoride, Cement Retarder, dll [1]. Saat ini PT. Petrokimia Gresik memiliki tiga buah pabrik untuk menunjang produksinya. Dengan adanya tiga buah pabrik, PT. Petrokimia Gresik mendapatkan suplai listrik dari PLN dan juga beberapa pembangkit milik PT. Petrokimia sendiri, yaitu : pada pabrik I disuplai *Gas Turbine Generator* (GTG plant-1) 1x33 MW, pabrik II disuplai oleh *grid* PLN 20000MVAsc, pabrik IIIA disuplai menggunakan *Steam Turbine Generator* (STG plant-III) 1x11.5 MW dan 1x8.5 MW serta terdapat satu unit pembangkit *Steam Turbine Generator* (STG UBB Plant) sebesar 1x32 MW, pabrik IIIB disuplai *Steam Turbine Generator* (STG Revamp plant-III) 1x17.5 MW serta satu unit pembangkit *Steam Turbine Generator* (STG Cogen Plant) 1x12.5 MW.

Sesuai dengan tujuan dari PT. Petrokimia Gresik, yaitu untuk mendukung program pemerintah dalam rangka meningkatkan produksi pertanian dan ketahanan pangan Nasional, PT. Petrokimia Gresik sebagai produsen pupuk yang cukup besar di Indonesia melakukan berbagai inovasi guna meningkatkan kualitas dan kuantitas produksinya. Salah satunya inovasi yang dilakukan oleh PT. Petrokimia Gresik adalah mendirikan sebuah pabrik baru, Pabrik Ammonia Urea II (Ammurea II) dengan suplai listrik dari pembangkit baru pula yaitu GGCP (Gresik *Gas Cogeneration Plant*) 1x26,8 MW.

Salah satu hal yang perlu dipertimbangkan pada pembangunan pabrik baru adalah sistem kelistrikannya. Tidak menutup kemungkinan bahwa pada sistem kelistrikan tersebut terjadi gangguan *short circuit*, *overload*, dan juga gangguan – gangguan kelistrikan lainnya yang akan menyebabkan peralatan – peralatan listrik yang terpasang menjadi rusak dan membuat kehandalan sistem menjadi menurun. Sehingga perlu dilakukan perencanaan sistem koordinasi proteksi yang handal untuk menanggulangi hal tersebut.



Oleh karena itu, tugas akhir ini akan membahas mengenai studi koordinasi proteksi pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik. Diharapkan dengan adanya studi koordinasi proteksi ini akan meminimalisir terjadinya gangguan kelistrikan yang mungkin saja terjadi guna melindungi peralatan – peralatan listrik yang terpasang serta untuk menjaga keandalan pada sistem kelistrikannya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pemodelan sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.
2. Menentukan arus hubung singkat yang terjadi pada sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.
3. Melakukan studi mengenai koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik
4. Mengoordinasi rele *overcurrent* dan rele *groundfault* pada sistem kelistrikan dengan menggunakan nilai *setting* yang didapatkan dari hasil perhitungan dan menyimulasi dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa koordinasi proteksi hanya dilakukan pada sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II tanpa mempertimbangkan sistem kelistrikan Petro Raya (*existing*).
2. Studi koordinasi proteksi hanya dilakukan pada sistem kelistrikan dengan tegangan 20 kV, 6,3 kV, dan 0,4 kV.

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memodelkan sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.
2. Mendapatkan nilai arus hubung singkat minimum (*line to line 30 cycle*) dan arus hubung singkat maksimum (*3 phase 4 cycle*) yang

- terjadi pada sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.
3. Menganalisis sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik.
  4. Mendapatkan *setting* koordinasi rele *overcurrent* dan rele *groundfault* pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik.

## 1.5 Metodologi

Metode Penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### 1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada sistem yang dimaksudkan adalah mengenai *single line diagram*, data – data beban, trafo, dan juga peralatan – peralatan listrik lainnya yang dipergunakan pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik.

### 2. Pemodelan dan Simulasi Sistem

Setelah mendapatkan data mengenai sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik, langkah selanjutnya adalah memodelkan dan menyimulasikan sistem kelistrikan pabrik tersebut dengan menggunakan *software* ETAP 12.6. Pemodelan sistem dilakukan agar dapat mengetahui besar arus hubung singkat yang terjadi, dan juga bagaimana koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan pabrik tersebut.

### 3. Analisis Simulasi

Dari simulasi sistem akan dihitung dan dianalisa mengenai *setting* rele *overcurrent* dan rele *groundfault* yang sesuai yang akan dipasang pada sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II.

### 4. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penyusunan laporan dilakukan dari awal melakukan studi literatur hingga analisis data serta mendapat kesimpulan bagaimana *setting* rele yang harus dipasang pada pabrik Ammurea II, PT. Petrokimia Gresik.

## 1.6 Sistematika

Sistematika pembahasan tugas akhir ini terdiri dari lima bab, dengan uraian sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Membahas tentang latar belakang pembuatan tugas akhir, permasalahan yang dibahas, batasan masalah tugas akhir,

maksud dan tujuan tugas akhir, metode penelitian yang dipergunakan, sistematika pembahasan tugas akhir, serta relevansi.

**BAB II : TEORI PENUNJANG**

Membahas tentang teori - teori penunjang yang diperlukan dan dipergunakan sebagai penunjang pengerjaan Tugas Akhir

**BAB III : SISTEM KELISTRIKAN PABRIK AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK**

Membahas tentang sistem kelistrikan pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik. Sistem kelistrikan yang dimaksud mengenai data sistem pembangkitan, sistem distribusi, dan data peralatan – peralatan listrik yang terpasang pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia.

**BAB IV : SIMULASI DAN ANALISIS**

Membahas tentang perhitungan – perhitungan yang dilakukan serta membahas mengenai hasil simulasi sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik yang telah dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6. Yang mana hasil simulasi tersebut dipergunakan sebagai dasar analisa untuk melakukan *setting* koordinasi proteksi pada pabrik tersebut.

**BAB V : PENUTUP**

Menjelaskan mengenai kesimpulan dan saran – saran dari hasil studi simulasi dan analisa tugas akhir ini.

## **1.7 Relevansi**

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Dapat dipergunakan sebagai referensi dan juga rekomendasi bagi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik berkaitan dengan koordinasi proteksi sistem kelistrikannya.
2. Dapat dipergunakan sebagai referensi bagi orang lain yang akan melakukan penelitian mengenai studi koordinasi proteksi dalam dunia industri.

## **BAB II**

# **GANGGUAN DAN PERALATAN PENGAMAN SISTEM TENAGA LISTRIK**

Pada sebuah perusahaan/industri, keandalan dari sistem kelistrikan merupakan suatu hal yang sangat pokok. Faktanya, suatu sistem kelistrikan sangatlah rentan terhadap gangguan. Gangguan kelistrikan yang terjadi pada sebuah industri dapat berasal dari dalam ataupun dari luar sistem. Gangguan juga ada yang bersifat temporer dan permanen. Gangguan pada sistem kelistrikan di industri akan menyebabkan kerugian yang begitu besar, baik dari segi *lifetime* peralatan listrik yang dipergunakan, maupun dari segi produksinya. Oleh karena itu perlu adanya sistem proteksi yang handal untuk meminimalisir terjadinya gangguan dan juga mengisolasi gangguan secara tepat dan cepat apabila gangguan sudah terjadi.

### **2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah suatu keadaan abnormal dari sistem tenaga listrik yang menyebabkan sistem menjadi tidak stabil. Baik dikarenakan adanya arus lebih ataupun arus yang tidak seimbang pada sistem kelistrikannya. Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat mengganggu aliran arus menuju ke beban. Gangguan dapat dibedakan berdasarkan sifat gangguan dan juga berdasarkan asal dari gangguan tersebut.

Berdasarkan sifat gangguannya, gangguan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua jenis, yaitu [2]:

#### **1. Gangguan Sementara/*Temporery***

Gangguan sementara atau *temporery* adalah gangguan yang waktu terjadinya hanya sementara (dalam waktu yang singkat) dan kemudian sistem dapat bekerja secara normal kembali. Dapat dikatakan bahwa gangguan sementara dapat hilang dengan sendirinya. Ketika gangguan sementara tidak dapat ditanggulangi dengan sendirinya, dan berlangsung cukup lama, gangguan sementara dapat berubah menjadi gangguan permanen. Untuk gangguan sementara dapat diatasi dengan menggunakan *autorecloser*. Namun pada dunia industri *autorecloser* dihindari

penggunaannya karena kurang efektif ketika terjadi gangguan yang permanen.

## 2. Gangguan Permanen/*Stationary*

Gangguan permanen atau *stationary* adalah gangguan yang waktu terjadinya gangguan dapat dikatakan lama (permanen). Salah satu contoh penyebab dari gangguan permanen adalah kerusakan pada peralatan yang dipergunakan pada sistem tenaga listrik tersebut. Sehingga perlu dilakukan perbaikan/penggantian peralatan terlebih dahulu, agar sistem dapat berfungsi secara normal kembali.

Sedangkan berdasarkan asal gangguan, gangguan pada sistem tenaga terdiri dari dua jenis, yaitu [2]:

### 1. Asal Gangguan dari Dalam Sistem

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam diantara lain dikarenakan kesalahan mekanis. Misalnya terjadi karena kesalahan instalasi dari peralatan sehingga menyebabkan peralatan tidak bekerja secara sempurna dan mengakibatkan terjadinya gangguan. Selain itu dapat dikarenakan alat yang sudah tidak berfungsi secara baik karena usia peralatan yang sudah tua.

### 2. Asal Gangguan dari Luar Sistem

Penyebab gangguan yang berasal dari luar sistem biasanya dikarenakan faktor cuaca (hujan, angin), pengganggu berupa binatang (hewan pengerat, serangga), dan juga petir. Dimana gangguan yang berasal dari luar sistem ini tidak dapat diprediksi terjadinya oleh manusia.

## 2.2 Penyebab Terjadinya Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Berikut ini adalah beberapa penyebab yang dapat mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik tiga fasa :

### 1. Gangguan Beban Lebih (*Overload*)

Terjadinya gangguan beban lebih (*overload*) disebabkan adanya pembebanan pada suatu sistem yang melebihi dari kapasitas sistem tersebut. Sehingga mengakibatkan sistem bekerja tidak pada keadaan normalnya. Hal ini mengakibatkan arus yang mengalir pada sistem melebihi arus nominal sistem tersebut. Arus lebih tersebut apabila terjadi dalam kurun waktu yang cukup lama akan mengakibatkan rusaknya peralatan listrik yang teraliri arus tersebut [2].

## 2. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Menurut IEC 60909-0 hubung singkat atau *short circuit* adalah sebuah jalur konduktif (*conductive path*) baik disengaja ataupun tidak sengaja antara dua buah maupun lebih penghantar (konduktor) yang memaksa beda potensial listrik antara bagian – bagian konduktifnya harus sama atau mendekati nol [3].

Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan dalam tiga karakteristik, yaitu [4] :

### 1. Penyebab terjadinya hubung singkat :

#### a. Mekanik

Terjadi kerusakan konduktor atau terjadi kerusakan penghubung elektrik di antara dua konduktor yang disebabkan benda asing seperti alat tertentu, bahkan juga hewan.

#### b. Elektrik

Terjadinya penurunan kualitas dari isolasi antar fasa, atau antar fasa dengan pentanahan akibat adanya tegangan lebih karena busur api ataupun tegangan lebih surja petir.

#### c. Kesalahan Operasi

Misalnya adalah kesalahan fasa *grounding*, kesalahan saat melakukan *closing switching device*, dan lain lain.

### 2. Lokasi terjadinya hubung singkat :

#### a. Di dalam peralatan listrik

Terjadinya hubung singkat di dalam peralatan listrik seperti kabel, motor, transformator, *switchboard*, dan lain – lain akan menyebabkan terjadi kerusakan peralatan

#### b. Di luar peralatan listrik

Terjadinya hubung singkat di luar peralatan peralatan listrik seperti kabel, motor, transformator, *switchboard*, dan lain – lain akan menyebabkan gangguan yang terbatas pada area luar peralatan listrik, namun apabila gangguan tersebut berlangsung cukup lama akan menyebabkan kerusakan peralatan listrik yang bersangkutan dan akan menyebabkan kerusakan internal.

### 3. Durasi hubung singkat :

#### a. *Self-Extinguishing* : Gangguan hilang atau dapat diisolasi dengan sendirinya

#### b. *Fugitive* : Gangguan dapat dihilangkan karena adanya sistem proteksi yang melindunginya sehingga gangguan tidak akan

muncul kembali saat sistem dioperasikan kembali (gangguan dapat dihilangkan setelah *reenergization*).

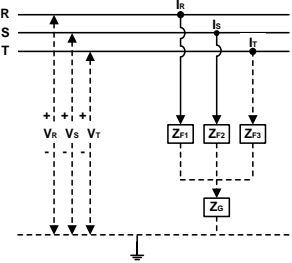
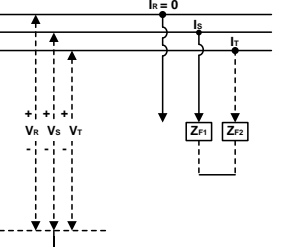
- c. Permanen : Gangguan ini memerlukan adanya *deenergization* dari kabel, mesin, dan lain lain serta memerlukan penanganan dari operator yang terkait dan berpengalaman.

Berikut ini adalah macam – macam gangguan hubung singkat serta presentase terjadinya gangguan hubung singkat tersebut, dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini [2] :

**Tabel 2.1 Jenis Gangguan Hubung Singkat**

Jenis Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat	Persentase Terjadinya Gangguan Hubung Singkat
Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah		70 %
Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah		10%

**Tabel 2.1 Jenis Gangguan Hubung Singkat (lanjutan)**

Jenis Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat	Persentase Terjadinya Gangguan Hubung Singkat
Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah		5%
Gangguan Hubung Singkat antar Fasa		15 %

### 3. Gangguan *Voltage Drop*

*Voltage Drop* atau drop tegangan didefinisikan sebagai jumlah kerugian tegangan yang terjadi pada sebagian atau keseluruhan rangkaian yang disebabkan oleh impedansi. Sehingga terjadi selisih tegangan antara sisi pengirim (sumber) dengan sisi penerimaan (beban) [1].

*Voltage Drop* yang berlebih pada sebuah rangkaian/sirkuit dapat menyebabkan lampu menjadi berkedip atau cahayanya menjadi remang – remang, motor menjadi cepat panas dan bisa terbakar, dan lain sebagainya. Dalam kondisi ini, dapat menyebabkan beban bekerja ekstra.



#### 4. Gangguan Surja Hubung

Gangguan surja hubung adalah adanya tegangan lebih yang disebabkan operasi pemutusan (*switching*). Berikut ini adalah beberapa proses pemutusan yang menyebabkan tegangan lebih beserta besar tegangan lebih yang diakibatkan proses tersebut [2] :

- a. Penutupan saluran yang tidak serempak pada pemutus 3 fasa (2.76 p.u)
- b. Penutupan kembali saluran dengan cepat (2.5 – 4.25 p.u)
- c. *Load Shedding* atau pelepasan beban akibat adanya gangguan (1.1 – 1.2 p.u)
- d. Penutupan saluran yang menyebabkan saluran tersebut menjadi terkoneksi dengan sistem (1.5 p.u)
- e. *Switching* pada transformator yang mengakibatkan terputusnya arus pembangkitan pada transformator (2.75 p.u)
- f. *Switching* reaktor dan kapasitor yang berfungsi sebagai pengatur tegangan pada sistem (2.5 p.u)

Dari beberapa contoh pemutusan di atas, tegangan lebih yang ditimbulkan akibat proses pemutusan berkisar antara 1.1 p.u sampai dengan 4.25 p.u.

#### 5. Gangguan Surja Petir

Gangguan surja petir merupakan gangguan yang disebabkan oleh petir, yaitu bunga api listrik (*electrical discharge*) yang terjadi di udara, di antara awan dengan awan atau awan dengan bumi. Dimana petir merupakan gelombang berjalan yang memiliki tegangan lebih [2].

Berikut ini adalah macam – macam sambaran petir :

- a. Sambaran Langsung  
Sambaran langsung yang dimaksud adalah sambaran petir tersebut mengenai peralatan listrik secara langsung sehingga isolasi tidak dapat mengatasi gangguan tersebut. Misalnya sambaran petir yang terjadi di gardu induk [2].
- b. Sambaran Induksi/Sambaran Tidak Langsung  
Sambaran induksi terjadi karena adanya induksi muatan listrik yang polaritasnya berbeda sehingga menimbulkan muatan yang terikat pada peralatan. Selain itu terjadi pelepasan muatan pada awan pula. Gelombang berjalan yang terbentuk akibat sambaran induksi

besarnya tergantung dengan keadaan pelepasan muatan, yaitu berkisar antara 100 sampai dengan 200 kV [2].

c. Sambaran Dekat

Contoh sambaran dekat adalah sambaran petir pada saluran transmisi yang kemudian gelombang berjalan tersebut merambat menuju peralatan listrik di sebuah gardu induk [2].

## 2.3 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat

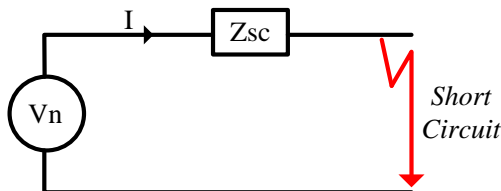
Pada subbab 2.2, telah dibahas mengenai gangguan hubung singkat, mulai dari macam – macam gangguan hubung singkat, gambar rangkaian sederhana hubung singkat, serta presentase terjadinya hubung singkat. Pada subbab 2.3 ini akan dibahas mengenai cara perhitungan gangguan hubung singkat.

Perhitungan yang dipergunakan untuk mengetahui arus hubung singkat adalah dengan menggunakan metode impedansi. Hal ini diterapkan untuk membantu saat perhitungan manual, tanpa menggunakan bantuan *software*.

### 2.3.1 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Secara umum gangguan hubung singkat 3 fasa menyebabkan arus gangguan yang paling besar. Karena itu perlu diperhitungkan dengan tepat untuk penggunaan peralatan listrik dan juga peralatan pengaman untuk mengantisipasi gangguan ini (maksimal arus yang dapat dilewati, dan juga kemampuan pertahanan apabila terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa).

Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa dapat dikatakan sederhana, karena merupakan rangkaian simetris [4]. Dimana arus gangguan dapat dicari dengan menggunakan rangkaian impedansi *thevenin* [4]. Seperti Gambar 2.1 di bawah ini :



**Gambar 2.1 Rangkain Ekivalen Single Phase Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa [4]**

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dirumuskan sebagai berikut:

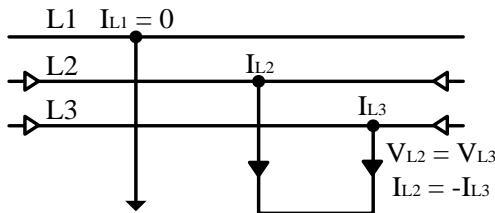
$$I_{sc3ph} = \frac{V_n}{Z_{sc}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$V_n$  = Tegangan *line to netral*

$Z_{sc}$  = Impedansi thevenin pada titik hubung singkat

### 2.3.2 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa merupakan gangguan hubung singkat yang prosentase terjadinya cukup kecil. Namun tidak menutup kemungkinan gangguan ini juga terjadi. Gangguan hubung singkat 2 fasa merupakan gangguan asimetris. Berikut ini adalah rangkaian sederhana gangguan hubung singkat 2 fasa, terlihat pada Gambar 2.2 di bawah ini :



**Gambar 2.2 Rangkaian Sederhana Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa [4]**

Besarnya arus hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc2ph} = \frac{V_{LL}}{x_1 + x_2} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$I_{sc2ph} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times x_1} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$I_{sc2ph} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{sc3ph} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$I_{sc2ph} = 0.866 \times I_{sc3ph} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$I_{sc3ph}$  = Arus hubung singkat 3 fasa

$I_{sc2ph}$  = Arus hubung singkat 2 fasa

$V_{LN}$  = Tegangan *line to netral*

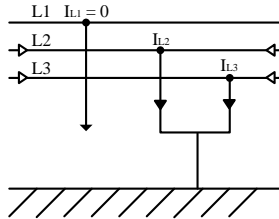
$V_{LL}$  = Tegangan *line to line*

$X_1$  = Reaktansi urutan positif

$X_2$  = Reaktansi urutan negatif

### 2.3.3 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang terjadi ketika adanya hubung antara 2 fasa ke tanah. Berikut ini adalah rangkaian sederhana gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah, terlihat pada gambar 2.3 :



**Gambar 2.3 Rangkaian Sederhana Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah [4]**

Besar gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc2ph-g} = \frac{V_f}{\frac{Z_1 + Z_2 Z_0}{(Z_2 + Z_0)}} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$I_{sc2ph-g} = V_f \times \frac{(Z_2 + Z_0)}{Z_1 + Z_2 Z_0} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$I_{sc2ph-g}$  = Arus hubung singkat 2 fasa ketanah

$V_f$  = Tegangan bus saat gangguan

$Z_1$  = Impedansi urutan positif

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif

$Z_0$  = Impedansi urutan nol

### 2.3.4 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, reaktansi urutan nol juga akan diperhitungkan. Hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sangat erat kaitannya dengan sistem pentanahan pada sistem kelistrikan tersebut. Sehingga untuk menanggulangi atau meminimalisir terjadinya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, perlu adanya sistem pentanahan yang baik. Berikut ini adalah persamaan perhitungan gangguan satu fasa ke tanah :

$$I_{sc1ph} = \frac{3 \times V_n}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

- $I_{sc1ph}$  = Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah
- $V_n$  = Tegangan *line to netral*
- $Z_1$  = impedansi urutan positif
- $Z_2$  = impedansi urutan negatif
- $Z_0$  = impedansi urutan nol

## 2.4 Peralatan Pengaman Sistem Tenaga Listrik

Seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.2, terdapat banyak sekali jenis – jenis gangguan tenaga listrik. Gangguan – gangguan tersebut dapat menyebabkan berbagai macam kerugian, diantaranya yang paling mendasar adalah sistem kelistrikan menjadi tidak stabil atau tidak berjalan secara normal. Ketika sebuah sistem kelistrikan tidak dapat berjalan secara normal, maka segala kegiatan yang berhubungan dengan penggunaan listrik menjadi terganggu. Dengan berbagai macam gangguan yang mungkin saja dapat terjadi, maka diperlukanlah peralatan pengaman sistem tenaga listrik yang handal untuk meminimalisir dan mengatasinya.

Di era sekarang ini, dimana teknologi sudah sangat berkembang, peralatan pengaman sistem tenaga listrik pun juga mengalami banyak inovasi. Peralatan pengaman tenaga listrik yang memiliki kualitas bagus dengan harga yang terjangkau merupakan salah satu inovasi yang sangat diperlukan.

### 2.4.1 *Setting* dan Koordinasi Peralatan Pengaman Sistem Tenaga Listrik

Berikut ini adalah hal – hal yang perlu diperhatikan mengenai setting dan koordinasi peralatan pengaman [5] :

- a) Saat sedang berlangsung *starting* motor dan juga *energize* transformator, *circuit breaker* (pemutus daya) tidak boleh membuka. Kurva rele pengaman (*Time Current Curve*) haruslah sesuai dengan gangguan yang terjadi. Hal tersebut mengacu pada fungsi selektivitas dalam *setting* dan koordinasi peralatan pengaman.
- b) Memperhatikan fungsi sensitivitas yang harus dimiliki oleh peralatan pengaman. Fungsi sensitivitas pada peralatan pengaman

dimaksudkan bahwa peralatan pengaman harus dapat me-*sensing* dan mengamankan gangguan seminimum mungkin pada titik gangguan terdekat.

- c) Memperhatikan fungsi koordinasi peralatan pengaman. Apabila suatu peralatan pengaman sudah memperhatikan fungsi selektivitas dan juga fungsi sensitivitas, maka peralatan pengaman tersebut harus dikoordinasikan atau dilakukan *setting* waktu dan arusnya.

#### 2.4.2 Trafo Arus (*Current Transformer*)

Trafo Arus atau *Current Transformer* (CT) merupakan sebuah peralatan listrik yang berfungsi untuk menyediakan arus yang sesuai (proporsional) yang digunakan untuk pengukuran atau menganalisa arus pada sistem proteksi [6]. Trafo arus digunakan untuk *sensing* atau mendeteksi arus yang besarnya melampaui rating peralatan pengukuran ataupun peralatan proteksi.

#### 2.4.3 Rele Sebagai Pengaman Sistem Tenaga Listrik

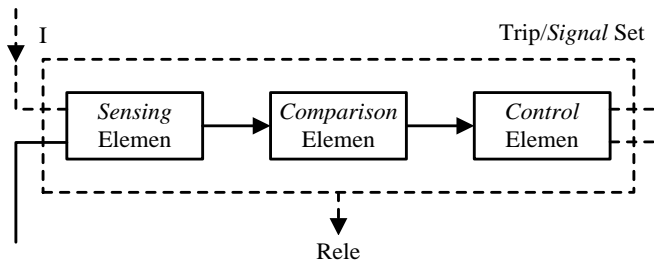
Rele merupakan peralatan pengaman sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memberi sinyal kepada CB (*circuit breaker*) untuk menghubungkan atau memutuskan suatu jaringan dari sebuah sistem kelistrikan. Pada sistem proteksi, rele akan memberi sinyal kepada CB untuk memutuskan suatu jaringan dari sistem kelistrikan apabila sistem tersebut mengalami gangguan. Sehingga jaringan yang diproteksi oleh rele tersebut dapat diisolir gangguannya, dan gangguan tersebut tidak menjalar ke jaringan lainnya. Sistem kerja rele pengaman, dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini :



**Gambar 2.4 Sistem Kerja Rele Pengaman [2]**

#### 2.4.4 Elemen Dasar Rele Pengaman

Pada rele pengaman, terdapat 3 buah elemen yang mencakupnya. Yaitu *sensing* elemen, *comparison* elemen, dan *control* elemen. Dijelaskan pada Gambar 2.5 di bawah ini :



**Gambar 2.5 Elemen Dasar Rele Pengaman [2]**

Berikut ini adalah penjelasan mengenai gambar elemen dasar rele pengaman [2] :

1. *Sensing* Elemen

*Sensing* elemen atau elemen pengindra merupakan elemen pada rele yang berfungsi sebagai indra dari rele yaitu merasakan adanya besaran listrik, misalnya arus, tegangan, atau besaran yang dipergunakan pada rele tersebut. Besaran listrik yang masuk pada elemen tersebut nantinya akan dideteksi apakah dalam kondisi gangguan (melebihi/kurang dari standar yang diperbolehkan) atau dalam keadaan normal. CT (*Current Transformator*) dan PT (*Power Transformator*) merupakan contoh dari *sensing* elemen

2. *Comparison* Elemen

Rele merupakan peralatan listrik yang merupakan *comparison* elemen atau elemen pembanding. Dimana *comparison* elemen ini berfungsi untuk membandingkan besaran listrik yang melalui *sensing* elemen (yang diterima oleh *sensing* elemen) dalam keadaan normal dengan besaran listrik yang *disetting* pada rele. Dan apabila besaran listrik tersebut melebihi besaran listrik yang *disetting* pada rele, maka rele akan bekerja.

3. *Control* Elemen

Setelah *comparison* elemen dalam hal ini adalah rele bekerja, yaitu rele memerintahkan PMT (Pemutus Tenaga) contohnya adalah CB (*Circuit Breaker*) untuk memutus jaringan yang terkena gangguan dengan sistem. Sehingga gangguan tidak akan menjalar ke sistem dan juga gangguan dapat diisolasi dengan segera.

#### 2.4.5 Syarat – Syarat Rele sebagai Pengaman Sistem Tenaga Listrik

Rele merupakan salah satu peralatan listrik yang fungsinya untuk menjaga keandalan dari suatu sistem kelistrikan. Agar dapat memenuhi tujuan tersebut, relepun juga harus handal. Rele dapat dikatakan handal apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut [2] :

##### 1. Kecepatan Bereaksi

Kecepatan bereaksi yang dimaksudkan disini adalah seberapa lama waktu yang diperlukan rele untuk bekerja ketika terjadi gangguan. Mulai dari rele merasakan terjadinya gangguan sampai dengan CB terbuka. Waktu kecepatan dari rele bekerja harus cepat dan tepat. Meskipun ada beberapa rele yang dipasang pada suatu sistem kelistrikan ada *time delay* nya atau waktu tundanya untuk menjaga selektifitas peralatan listrik yang terpasang. Meskipun begitu, waktu tunda yang dipergunakan haruslah juga secepat mungkin. Karena sebagai mana diketahui bahwa ketika rele terlambat mengatasi gangguan, akan berakibat fatal untuk kestabilan sistem serta merusak peralatan – peralatan listrik yang lainnya.

Berikut ini adalah rumusan matematika yang dipergunakan untuk menghitung waktu kecepatan rele bekerja mulai dari merasakan gangguan sampai dengan CB terbuka [2] :

$$t_{op} = t_p + t_{cb} \dots\dots\dots (2.9)$$

$t_{op}$  = Waktu total

$t_p$  = Waktu rele bekerja

$t_{cb}$  = Waktu CB terbuka

##### 2. Kepekaan Operasi (*Sensitivity*)

Rele sebagai pengaman tenaga listrik harus memiliki kepekaan operasi yang sensitif. Dimaksudkan bahwa semakin sensitif rele, maka rele tersebut semakin cepat pula merasakan / *sensing* apabila terjadi gangguan pada sistem. Berikut ini adalah perumusan untuk mengukur kepekaan operasi dari rele [2] :

$$K_s = \frac{I_{hs\ min}}{I_{pp}} \dots\dots\dots (2.10)$$

$K_s$  = Kepekaan operasi

$I_{hs\ min}$  = Arus hubung singkat minimum

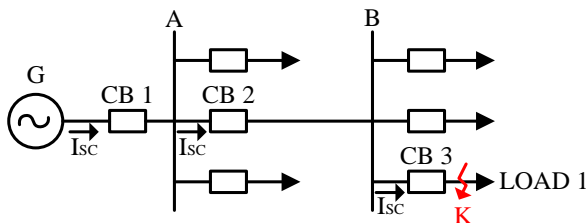
$I_{pp}$  = Arus *pick up* pada trafo arus sisi primer



### 3. Selektif (*Selectivity*)

Pada syarat selektif ini, dimaksudkan bahwa rele sebagai pengaman tenaga listrik dapat menentukan pada titik mana gangguan terjadi, dan kemudian memerintahkan CB terdekat dengan gangguan tersebut untuk membuka sehingga gangguan dapat diisolasi atau dilokalisasi dengan tepat. Selektifitas rele yang tinggi membuat rele tersebut dapat bekerja secara maksimal untuk mengamankan peralatan listrik pada zonanya saja. Sehingga ketika terjadi gangguan di suatu jaringan, rele lain yang terpasang di jaringan lain namun masih dalam satu sistem kelistrikan tidak turut bekerja.

Syarat selektif dari rele sebagai pengaman tenaga listrik dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut ini :



**Gambar 2.6 Selektifitas Rele [2]**

Pada *single line diagram* di atas diketahui bahwa ketika terjadi gangguan pada *load 1* (titik K), maka CB 3 yang akan bekerja, kemudian *back up* nya adalah CB 2 (bus di atasnya) dan juga CB 1 (CB generator). Itulah yang dimaksudkan dengan syarat selektifitas pada rele sebagai pengaman tenaga listrik.

### 4. Keandalan (*Reliability*)

Syarat rele sebagai pengaman tenaga listrik selanjutnya adalah keandalan (*reliability*), maksud dari rele harus handal adalah rele mampu bekerja secara maksimal dalam mengatasi gangguan. Keandalan rele dapat dihitung dari jumlah rele yang bekerja terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Rele dapat dikatakan handal apabila memiliki presentasi keandalan antara 90% - 99% [2].

Presentase keandalan rele tersebut dilihat dari kemampuan kerja rele jangka panjang (*lifetime* dari rele itu sendiri), pengaruh dari penempatan

rele, lingkungannya, temperatur ruangan, konstruksi rele, instalasi rele, serta *maintenance* rele tersebut.

## 5. Ekonomis

Selain mempertimbangkan beberapa persyaratan diatas, salah satu yang harus dipertimbangkan pula ketika membuat sistem pengaman tenaga listrik adalah segi keekonomisan dari peralatan pengaman tersebut. Tentunya tanpa mengurangi keefektifan dari peralatan. Terlebih lagi dalam industri/perusahaan, segi ekonomis (dalam hal ini berkaitan dengan segi bisnis, mencari keuntungan) sangat diperhitungkan. Selain itu segi keekonomisan ini juga berarti harus meninjau dari peralatan yang akan diamankan. Semakin besar investasi suatu peralatan listrik, tidak menutup kemungkinan semakin besar pula nilai keekonomisan yang harus dibayar untuk proteksinya.

## 2.5 Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Rele arus lebih adalah rele pengaman yang beroperasi atau bekerja apabila terdapat arus yang melebihi dari nilai yang ditetapkan. Rele arus lebih merupakan rele yang paling sederhana dari semua jenis rele. Hanya terdapat satu variabel yang diukur untuk mengoperasikan rele ini, yaitu arus. [7].

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, prinsip kerja dari rele arus lebih ini berdasarkan besarnya arus yang masuk. Apabila arus yang masuk melebihi batas arus yang diatur (*Iset*) maka rele tersebut akan *sensing* dan memerintahkan CB untuk *open*. Dimana *Iset* adalah arus kerja yang besarnya dinyatakan menurut sisi sekunder *current transformer* (CT). Apabila gangguan terjadi pada daerah proteksi, maka arus gangguan (*If*) besarnya juga dinyatakan menurut sisi sekunder *current transformer* (CT). Sehingga pemilihan rasio *current transformer* dan *range* arus pada rele sangatlah penting. Rele harus memiliki waktu tunda (*time delay*) yang tepat, selektivitas pada saat *trip*, dan juga konsisten dengan beban listrik yang diamankan.

Prinsip kerja dari rele *overcurrent* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$I_f > I_{set}$                       rele bekerja

$I_f < I_{set}$                       rele tidak bekerja (blok)

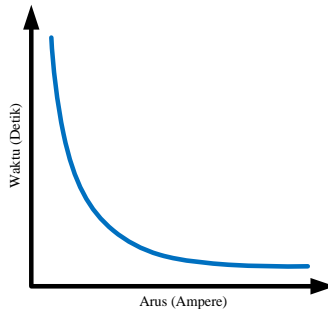
Koordinasi waktu pada rele *overcurrent* analog berdasarkan IEEE 242 untuk perbedaan waktu minimum antara 0,3 s/d 0,4 detik,

sedangkan untuk rele *overcurrent* digital berbasis mikroprosesor antara 0,2 s/d 0,3 detik [8].

### 2.5.1 Rele *Overcurrent Invers Time* (Waktu Terbalik)

Rele arus lebih dengan waktu *setting*, *invers time* atau waktu terbalik memiliki waktu kerja yang berbanding terbalik dengan besar dari arus gangguan. Apabila arus gangguannya kecil, maka waktu yang dibutuhkan untuk rele bekerja semakin lama, dan sebaliknya apabila arus gangguan semakin besar, maka waktu operasi rele pun akan semakin cepat [8].

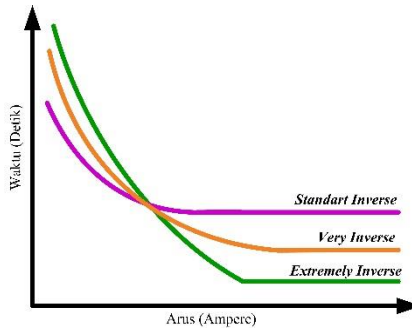
Berikut ini adalah Gambar 2.7 mengenai karakteristik dari rele arus lebih dengan waktu *invers* :



**Gambar 2.7 Karakteristik Rele *Overcurrent Invers Time***

Karakteristik kerja dari rele arus lebih digambarkan dengan TCC (*Time Current Curve*) atau kurva arus-waktu. Untuk rele arus lebih waktu *invers* dilihat dari *time dial* nya, yang mana semakin lama *time dial* nya maka semakin lama pula rele tersebut dalam beroperasi.

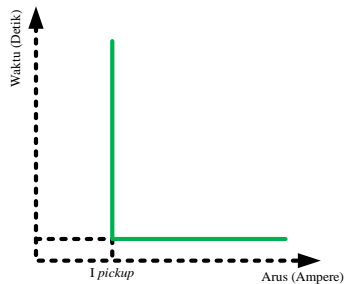
Ada berbagai macam karakteristik waktu *invers* dari rele arus lebih, yaitu *very invers*, *extremely invers*, dan *standart inverse* [8]. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.8 di bawah ini :



**Gambar 2.8** Macam – Macam Kurva *Invers Time*

### 2.5.2 Rele Overcurrent Instantaneous Time

Rele arus lebih dengan waktu instan atau seketika adalah rele yang bekerja tanpa adanya waktu tunda [7]. Rele ini bekerja berdasarkan arus gangguan hubung singkat yang *disetting*, dimana CB akan bekerja dalam waktu yang telah *disetting* [5]. Berikut ini adalah karakteristik rele *overcurrent instantaneous*, terlihat pada Gambar 2.9 di bawah ini :

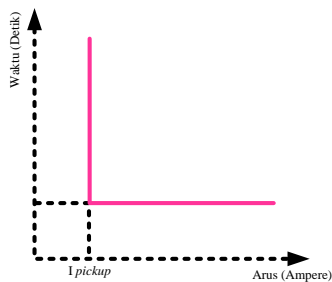


**Gambar 2.9** Karakteristik Rele *Overcurrent Instantaneous Time*

### 2.5.3 Rele Overcurrent Definite Time

Pada rele arus lebih *definite time* atau rele arus lebih waktu tertentu ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi tergantung dengan *setting* yang diinginkan namun tetap berdasarkan *level* arus yang berbeda. Dengan hal tersebut, rele arus lebih waktu tertentu ini dapat mengisolasi gangguan yang paling dekat dengan cepat sesuai dengan *setting* dari

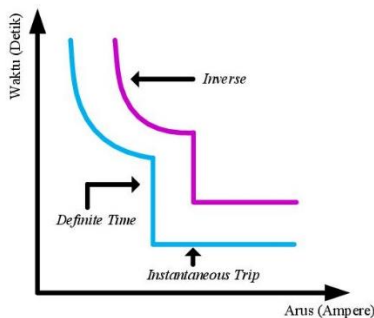
*time delay* nya. Dan semua *level* arus yang melebihi dari arus *pick up* nya akan diisolir dalam waktu yang sama. Berikut ini adalah Gambar 2.10 karakteristik dari rele arus lebih *definite time* :



**Gambar 2.10 Karakteristik Rele Overcurrent Definite Time**

**2.5.4 Rele Overcurrent Invers Definite Minimum Time**

Rele arus lebih waktu *invers* (waktu terbalik) dapat digabungkan dengan rele arus lebih waktu *definite* (waktu seketika) sehingga disebut dengan rele arus lebih *invers definite minimum time* (IDMT). Rele arus lebih waktu *invers* ini bekerja apabila terdapat arus yang melebihi arus yang telah ditentukan (daerah *invers*). Kemudian rele arus lebih *definite time* ini bekerja pada saat gangguan hubung singkat minimum sesuai dengan *setting* dari *time delay* [8]. Pada Gambar 2.11 di bawah ini merupakan karakteristik rele *overcurrent Invers Definite Minimum Time*:



**Gambar 2.11 Karakteristik Rele Overcurrent Invers Definite Minimum Time**

## 2.6 Setting Rele Overcurrent

*Setting* rele *overcurrent* sebagai pengaman tenaga listrik harus *disetting* sesuai dengan kebutuhan dari sistem kelistrikannya. Selain itu koordinasi harus dilakukan dengan tepat. Sehingga apabila terjadi gangguan pada sistem kelistrikannya, maka rele dapat bekerja secara optimal.

Hal yang perlu diperhatikan untuk melakukan *setting* rele *overcurrent* adalah simulasi hubung singkat. Dengan simulasi hubung singkat dapat ditentukan arus hubung singkat minimum (*line to line 30 cycle*) dan arus hubung singkat maksimum (3 fasa 4 *cycle*) yang akan menjadi acuan *setting* rele *overcurrent*.

### 2.6.1 Setting Rele Overcurrent Inverse Time

Pada *setting* rele arus lebih waktu *inverse*, variabel yang dapat *disetting* adalah arus *pickup* dan juga *time dial* nya. Untuk *setting* arus *pickup*, besar *setting* arus harus lebih besar daripada arus beban maksimum peralatan yang diamankan. Hal ini dikarena rele arus lebih waktu *inverse* tidak boleh beroperasi pada saat arus beban maksimum. Sehingga *setting* arusnya harus lebih besar daripada beban maksimum. Menurut *Standard British BS 142*, batas *setting* rele arus lebih waktu *inverse* (faktor pengali untuk *setting*) adalah :

$$1.05 I_{FL} < I_{set} < 1,3 I_{FL} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana  $I_{set}$  merupakan besar arus *pickup* (Ampere) dan  $I_{FL}$  adalah arus *full load* atau arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan ketika beroperasi (Ampere). Besar dari arus *pick up* ditentukan berdasarkan pemilihan *tap*. Dan nilai *tap* sendiri, dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I \text{ pick up}}{\text{Arus primer CT}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Setelah *mensetting* arus *pick up*, langkah selanjutnya adalah *mensetting time dial*. *Setting time dial* ini diperlukan untuk menentukan kapan rele arus lebih yang dipergunakan akan bekerja apabila terjadi gangguan *overload*. Berikut ini adalah rumus yang dipergunakan untuk menentukan *time dial* dari rele arus lebih waktu *invers* yang dipergunakan pada tugas akhir ini :

## 1. Siemens 7SJ62 menggunakan *standart* IEC [9]

### Inverse (Type A)

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02}-1} \times tp \dots\dots\dots (2.13)$$

### Very Inverse (Type B)

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1-1} \times tp \dots\dots\dots (2.14)$$

### Extremely Inverse (Type C)

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2-1} \times tp \dots\dots\dots (2.15)$$

### Long Inverse (Type B)

$$t = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1-1} \times tp \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

t = Trip time (second)

tp = Time dial

I = Arus hubung singkat maksimum

I<sub>p</sub> = Arus pickup

## 2. Schneider Electric Sepam Series 10 menggunakan *standart* IEC [10]

Pada *setting* time dial Sepam Series 10, terdapat 4 kurva *inverse* dengan standart IEC. Berikut ini adalah perhitungan *setting* kurvana :

$$td(I) = \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p-1} \times TMS \dots\dots\dots (2.17)$$

Dan berikut ini adalah konstanta *setting time dial* rele Sepam Series 10, dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini :

**Tabel 2.2 Konstanta Setting Time Dial Rele Sepam Series 10**

Type Kurva <i>Inverse</i>	Konstanta	
	A	p
<i>IEC Standard Inverse Time SIT/A</i>	0.14	0.02
<i>IEC Very Inverse Time VIT/B</i>	13.5	1
<i>IEC Long Time Inverse LTI/B</i>	120	1
<i>IEC Extremely Inverse Time EIT/C</i>	80	2

Keterangan :

Td(l) = Trip time (second)

TMS = Time Multiplying Setting (Time Dial)

I = Arus hubung singkat maksimum

I<sub>s</sub> = Arus setting (pickup)

### 3. GE Multilin 489 menggunakan standart IEC [11]

Berdasarkan IEC 255-4 and British standard BS142, terdapat 4 kurva *inverse* dengan standart IEC. Berikut ini adalah perhitungan *setting* kurangnya :

$$T = M \times \frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^E - 1} \dots\dots\dots (2.18)$$

Berikut ini adalah konstanta *setting time dial* rele GE Multilin 489, dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini :

**Tabel 2.3 Konstanta *setting time dial* rele GE Multilin 489**

Tipe Kurva <i>Inverse</i>	Konstanta	
	K	E
<i>IEC Curve A (BS142)</i>	0,140	0,020
<i>IEC Curve B (BS142)</i>	13,500	1,000
<i>IEC Curve C (BS142)</i>	80,000	2,000
<i>Short Inverse</i>	0,050	0.040

Keterangan :

T = Trip time (second)

M = Multiplier Setpoint

I = Arus hubung singkat maksimum

I<sub>pickup</sub> = Arus setting (pickup)

#### 2.6.2 Setting Rele *Overcurrent Instantaneous Time*

Seperti dijelaskan pada sub bab 2.5.3 sebelumnya mengenai rele arus lebih dengan waktu seketika, bahwa rele ini bekerja tanpa adanya waktu tunda. Untuk *setting* dari rele arus lebih ini berdasarkan arus hubung singkat minimum, yaitu adalah arus hubung singkat dua fasa 30 *cycle*. Berikut ini adalah persamaan untuk *setting* rele arus lebih *instantaneous time* :

$$1.6 I_{FL} < I_{set} < 0.8 \times I_{SC \min} \dots\dots\dots (2.19)$$



## 2.7 Rele Groundfault

*Ground Fault* yang sering terjadi adalah gangguan satu fasa ke tanah dan juga gangguan dua fasa ketanah. Gangguan tersebut dapat diamankan menggunakan rele *groundfault*. Rele *groundfault* dipergunakan sebagai perlindungan dari adanya gangguan dengan cara membatasi arus gangguan tanah. Rele *groundfault* merupakan rele yang dilengkapi dengan *zero sequence current filter* [5].

*Setting* rele gangguan ke tanah adalah sebagai berikut :

$$5-10\% \times I_{sc\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{sc\ L-G} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana  $I_{sc\ L-G}$  adalah arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

## 2.8 Koordinasi Rele Berdasarkan Arus dan Waktu

Peralatan pengaman tenaga listrik harus saling terkoordinasi dengan baik agar sistem kelistrikan yang akan diproteksi menjadi aman. Maksud dari koordinasi rele adalah adanya ketepatan CB dalam bekerja, antara CB utama dengan CB sebagai *backup*nya. Sehingga ketika terjadi gangguan di suatu bus atau suatu beban, tidak akan menyebabkan CB bekerja secara bersamaan dan kemungkinan terburuk berakibat seluruh sistem kelistrikan menjadi *blackout*. Untuk mencegah hal tersebut terjadi, maka diperlukan adanya waktu tunda atau *time delay* dalam pengaturan setiap CB yang dipergunakan.

Waktu kerja antara rele utama dengan rele *backup* nya harus berjarak 0,2 – 0,4 detik [8]. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

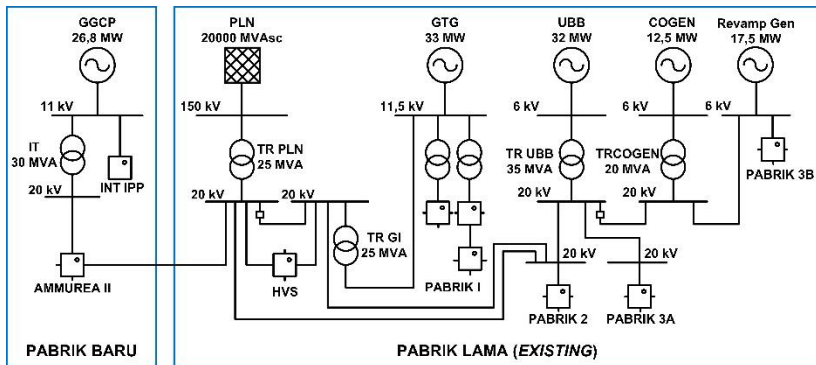
Waktu CB terbuka : 0,04 – 0,1 *second* (2 – 5 *cycle*)

## BAB III

### SISTEM KELISTRIKAN PABRIK AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK

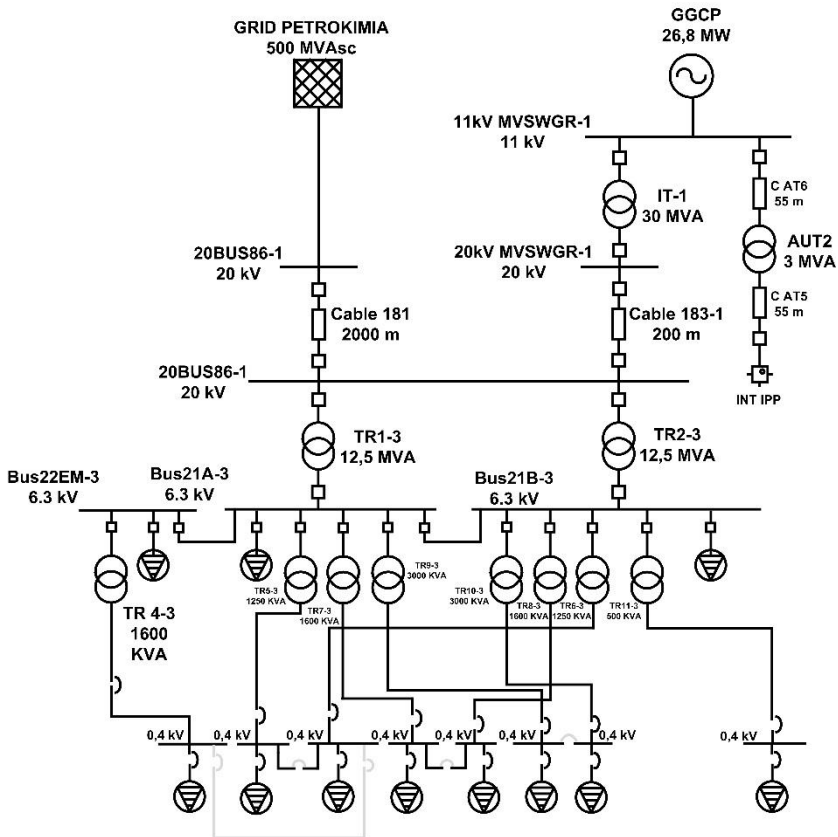
#### 3.1 Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Pabrik Ammurea II merupakan pabrik baru yang didirikan oleh PT. Petrokimia Gresik guna meningkatkan kualitas dan kuantitas produksinya. Hasil produksi pabrik ini adalah pabrik non-organik yaitu ammonia dan juga urea. Sistem kelistrikan pada pabrik ammurea II ini disuplai dari 2 buah sumber, yaitu PLN dan pembangkit baru GGCP (Gresik Gas Cogeneration Plant) dengan kapasitas 1x26,8 MW. Sistem kelistrikan yang digunakan pada pabrik ini adalah sistem radial dengan tegangan bus 20 kV; 6,3 kV; dan 0,4 kV. Berikut ini adalah Gambar 3.1, *single line diagram* sederhana PT. Petrokimia Gresik (*existing*) yang menunjukkan bahwa Pabrik Ammurea II *disupplay* oleh dua buah sumber.



**Gambar 3.1** *Single Line Diagram* Sederhana PT. Petrokimia Gresik

Selanjutnya, setelah melihat letak Pabrik Ammurea II pada sistem kelistrikan Petro Raya, berikut ini adalah gambar *single line diagram* sederhana dari Pabrik Ammurea II yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini :



**Gambar 3.2 Single Line Diagram Sederhana Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik**

Dari Gambar 3.2 di atas, terlihat bahwa Pabrik Ammurea II disuplay oleh GGCP 26,8 MW dan PLN. Dari Gambar 3.1, *supplay* PLN yang digunakan oleh PT. Petrokimia Gresik sebesar 20.000 MVAsc pada tegangan 150 kV. Namun pada *single line diagram* Pabrik Ammurea II hanya dipergunakan 500 MVAsc pada tegangan 20 kV. Hal ini dikarenakan batasan masalah pada tugas akhir ini hanya melingkupi proteksi internal Pabrik Ammurea II dengan tegangan terbesarnya adalah 20 kV. Penentuan kapasitas grid yang dipergunakan sebesar 500 MVAsc pada tegangan 20 kV, adalah karena trafo maksimum yang

dipergunakan oleh PLN pada tegangan 20 kV adalah 60 MVA dengan impedansi maksimum 12,5%. Sehingga, MVAsc *grid* tersebut sebesar :

$$\text{MVAsc} = \frac{60 \text{ MVA}}{12,5\%} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{MVAsc} = 480$$

Untuk mempermudah dalam penggunaannya, pihak PLN akan membulatkan MVAsc untuk tegangan bus 20 kV sebesar 500 MVAsc.

### 3.2 Sistem Pembangkitan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Selain mendapat suplai dari PLN, Pabrik Ammurea II juga disuplai oleh sebuah pembangkit baru. Yaitu pembangkit GGCP (Gresik Gas Cogeneration Plant) dengan kapasitas 26,8 MW. Dalam pengoperasiannya, GGCP merupakan pembangkit utama untuk suplai sistem kelistrikan di Pabrik Ammurea II.

Berikut ini adalah data spesifikasi generator GGCP-1 yang dipergunakan untuk mensuplai Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik, terlihat pada Tabel 3.1 di bawah ini :

**Tabel 3.1 Data Spesifikasi Generator GGCP-1**

Data Spesifikasi Generator GGCP-1	
<i>Source ID</i>	GGCP-1
Tipe Generator	Gas Turbo
<i>Rating</i>	26,8 MW
Daya Mampu	22 MW
MVA	33,5
Tegangan	11 kV
% <i>Power Factor</i>	80 %
% Efisiensi	95 %
Jumlah Kutub	4
Tipe Rotor	Salient Pole
RPM	1500
Frekuensi	50 Hz
FLA	1758 A

**Tabel 3.1 Data Spesifikasi Generator GGCP-1 (lanjutan)**

Data Spesifikasi Generator GGCP-1	
Type Exciter	DC1
$X_d$ ( <i>Direct-axis Synchronous Reactance</i> )	198,2 %
$X_d'$ ( <i>direct-axis transient synchronous</i> )	24,5
$X_d''$ ( <i>direct-axis sub-transient synchronous</i> )	17,3 %
Inertia	1,481

### 3.3 Sistem Distribusi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Sistem distribusi pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik merupakan sistem distribusi radial dengan tegangan menengahnya adalah 20 kV, 11 kV, 6,3 kV dan tegangan rendahnya adalah 0,4 kV.

Berikut ini adalah data *bus* pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik yang diperlihatkan pada Tabel 3.2 :

**Tabel 3.2 Data Bus**

No.	ID Bus	Rating Tegangan
1.	20BUS86-1-1	20 KV
2.	20kV MVSWGR-1-1	20 KV
3.	BUS11A-3-1-1	20 KV
4.	11kV MVSWGR-1-1	11 KV
5.	BUS22EM-3-1-1	6,3 KV
6.	BUS21A-3-1-1	6,3 KV
7.	BUS21B-3-1-1	6,3 KV
8.	BUS6KV MVSWGR	6 KV
9.	BUS35EM-5-1-1	0,4 KV
10.	BUS65-3-1-1	0,4 KV
11.	BUS31A-4-1-1	0,4 KV
12.	BUS31B-4-1-1	0,4 KV

**Tabel 3.2 Data Bus (lanjutan)**

No.	ID Bus	Rating Tegangan
13.	BUS32A-4-1-1	0,4 KV
14.	BUS32B-4-1-1	0,4 KV
15.	BUS33A-4-1-1	0,4 KV
16.	BUS33B-4-1-1	0,4 KV
17.	BUS34-4-1-1	0,4 KV
18.	BUS51-3-1-1	0,4 KV
19.	BUS52-3-1-1	0,4 KV
20.	LVS-43EM-3-1-1	0,4 KV
21.	MCC CONVEYOR-3-1-1	0,4 KV
22.	MCC WTP-3-1-1	0,4 KV
23.	MCC WWTP-3-1-1	0,4 KV
24.	PDP-342-3-1-1	0,4 KV
25.	EMER SWGR	0,4 KV
26.	LV1 SWGR	0,4 KV
27.	LV2 SWGR	0,4 KV

Untuk mensuplai sistem kelistrikan dengan tegangan yang bermacam – macam ratingnya, diperlukan peralatan listrik yaitu transformator. Pada Tabel 3.3 di bawah ini merupakan data transformator yang terdapat pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik :

**Tabel 3.3 Data Transformator**

No.	ID Transformator	Tegangan (kV)		Rating MVA	X/R	%Z
		Primer	Sekunder			
1.	IT-1-1-1	11	20	30	1,5	11
2.	AUT 2	11	6	3	6	11
3.	TR1-3-1-1	20	6,3	12,5	13	7,5
4.	TR2-3-1-1	20	6,3	12,5	13	7,5

**Tabel 3.3 Data Transformator (lanjutan)**

No.	ID Transformator	Tegangan (kV)		Rating MVA	X/R	%Z
		Primer	Sekunder			
5.	TR4-3-1-1	6,3	0,4	1,6	6	6,25
6.	TR5-3-1-1	6,3	0,4	1,25	3,5	4,5
7.	TR6-3-1-1	6,3	0,4	1,25	3,5	4,5
8.	TR7-3-1-1	6,3	0,4	1,6	10	5,5
10.	TR8-3-1-1	6,3	0,4	1,6	10	5,5
11.	TR9-3-1-1	6,3	0,4	3	10	7
12.	TR10-3-1-1	6,3	0,4	3	10	7
13.	TR11-3-1-1	6,3	0,4	0,5	1,5	4
14.	LV1 TRAFO	6	0,4	0,8	3,5	5
15.	LV2 TRAFO	6	0,4	1	3,5	5

Dan untuk mengalirkan arus listrik ke seluruh beban di sistem kelistrikan, diperlukan peralatan listrik yaitu kabel. Yang mana pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik menggunakan banyak sekali jenis kabel dengan spesifikasi yang berbeda – beda. Pada tabel 3.4 di bawah ini merupakan data beberapa kabel yang dipergunakan pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik :

**Tabel 3.4 Data Kabel**

BUS 11A-3-1-1					
CABLE 20-1-3- 1-1	<i>Size</i>	150 mm <sup>2</sup>	CABLE 21-1-3-1- 1	<i>Size</i>	150 mm <sup>2</sup>
	<i>Lenght</i>	50 m		<i>Lenght</i>	50 m
	<i>No. Of Conductor</i>	2		<i>No. Of Conductor</i>	2
	R (Ω/km)	0,124		R (Ω/km)	0,124
	X (Ω/km)	0,1		X (Ω/km)	0,1
	C (μF/km)	0,25		C (μF/km)	0,25

**Tabel 3.4 Data Kabel (lanjutan)**

BUS 21A-3-1-1			BUS 21B-3-1-1		
342-TR9-MP-3-1-1	<i>Size</i>	240 mm <sup>2</sup>	P21201A-MP-3-1-1	<i>Size</i>	95 mm <sup>2</sup>
	<i>Lenght</i>	431 m		<i>Lenght</i>	700 m
	<i>No. Of Conductor</i>	1		<i>No. Of Conductor</i>	1
	R (Ω/km)	0,0754		R (Ω/km)	0,193
	X (Ω/km)	0,09		X (Ω/km)	0,1
	C (μF/km)	0,45		C (μF/km)	0,31
BUS 22EM-3-1-1			BUS 35EM-5-1-1		
P20211A-MP-3-1-1	<i>Size</i>	35 mm <sup>2</sup>	P20211A-MP-3-1-1	<i>Size</i>	6 mm <sup>2</sup>
	<i>Lenght</i>	471 m		<i>Lenght</i>	155 m
	<i>No. Of Conductor</i>	1		<i>No. Of Conductor</i>	1
	R (Ω/km)	0,524		R (Ω/km)	3,08
	X (Ω/km)	0,11		X (Ω/km)	0,09
	C (μF/km)	0,2		C (μF/km)	-
BUS 33A-4-1-1			BUS 33B-4-1-1		
DP-WWTP-LP-3-1-1	<i>Size</i>	240 mm <sup>2</sup>	P20211A-MP-3-1-1	<i>Size</i>	240 mm <sup>2</sup>
	<i>Lenght</i>	535 m		<i>Lenght</i>	354 m
	<i>No. Of Conductor</i>	2		<i>No. Of Conductor</i>	3
	R (Ω/km)	0,0754		R (Ω/km)	0,0754
	X (Ω/km)	0,08		X (Ω/km)	0,08
	C (μF/km)	-		C (μF/km)	-

### 3.4 Data Beban pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Beban yang terdapat pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik sangatlah banyak. Namun rata – rata dengan kapasitas yang cukup kecil. Apabila motor tersebut memiliki kapasitas yang cukup besar, beban tersebut berada pada tegangan 6,3 kV sedangkan untuk



beban yang kecil terletak pada beban 0,4 kV. Total beban motor pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik sebanyak 182 buah motor listrik.

Pada tabel 3.5 di bawah ini merupakan data beberapa beban motor dengan kapasitas yang cukup besar di Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik :

**Tabel 3.5 Data Beban Motor**

ID Motor	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
107-JAM-3	0,41 MW	6
E21101A-3	0,25 MW	6
E21101B-3	0,25 MW	6
E21101C-3	0,25 MW	6
E21101D-3	0,25 MW	6
E21101E-3	0,25 MW	6
E21201A-3	0,185 MW	6
E21201B-3	0,185 MW	6
K31001C-3	0,395 MW	6
P20211B-3	0,25 MW	6
P21201A-3	1,67 MW	6
U-GA101B-3	0,8 MW	6
U-GA102A-3	0,56 MW	6
U-GA502A-3	0,16 MW	6
U-GB302-3	0,42 MW	6
101-JLJ-3	0,09 MW	0,4
118-JA-3	0,09 MW	0,4
121-J-3	0,132 MW	0,4
124-JA-3	0,09 MW	0,4
MP20204A-3	0,09 MW	0,4

Pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik, terdapat pula beban berupa *static load*. Total *static load* pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik sebanyak 127 beban yang semuanya terpasang pada tegangan bus 0,4 kV. Berikut ini adalah Tabel 3.6 yang menampilkan

beberapa beban *static load* pada Pabrik Ammurea yang memiliki rating cukup besar.

**Tabel 3.6 Data Beban *Static Load***

ID Static Load	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
101-J-LH1-3-1-1	45 kVA	0,4
103-J-LH1-3-1-1	45 kVA	0,4
350-LP3-3-1-1	20 kVA	0,4
550-DP04-3-1-1	223 kVA	0,4
560-LP05-3-1-1	37,7 kVA	0,4
20000/HVAC-3-1-1	22,2 kVA	0,4
34000-HVAC-3-1-1	167 kVA	0,4
34000UPS1-2-3-1-1	141 kVA	0,4
34200-HVAC-3-1-1	188 kVA	0,4
35000-HVAC-3-1-1	278 kVA	0,4
55000/HVAC-3-1-1	167 kVA	0,4
EMERGENCY LIGHTING	50 kVA	0,4
HVAC	30 kVA	0,4
HVAC-AP-3-1-1	141 kVA	0,4
L48002A-3-1-1	28,6 kVA	0,4
L48004A-3-1-1	45,7 kVA	0,4
MAIN LIGHTING	100 kVA	0,4
WO-20000JB-3-1-1	71,1 kVA	0,4
Z06000-HVAC-3-1-1	35,3 kVA	0,4

Selain terdapat beban motor dan juga *static load*, Pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik juga terdapat pula beban *lump load*. Total beban *lump load* yang terpasang sebanyak 17 buah *lump load* yang semuanya terpasang pada tegangan bus 0,4 kV. Berikut ini adalah beberapa data *lump load* yang terdapat pada Pabrik Ammurea II, pada Tabel 3.7 di bawah ini :

**Tabel 3.7 Data Beban Lump Load**

ID Static Load	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
560-DP02-3-1-1	90,1 kVA	0,4
COOLING TOWER	244 kVA	0,4
GTG AUX.	205 kVA	0,4
IA & PA	134 kVA	0,4
MAIN PDB	100 kVA	0,4
UTILITY MCC	340 kVA	0,4
WTP	238 kVA	0,4

Tidak hanya beban motor, *static load*, serta *lump load*. Pada Pabrik Ammurea II juga terdapat pula beban *motor operated valve* (MOV). Total beban MOV yang terpasang sebanyak 22 buah yang semuanya terpasang pada tegangan bus 0,4 kV. Berikut ini adalah beberapa data MOV yang terdapat pada Pabrik Ammurea II, terlihat pada Tabel 3.8 di bawah ini :

**Tabel 3.8 Data Beban Motor Operated Valve**

ID Motor Operated Valve	Kapasitas	Rating Tegangan (kV)
04MOV-1005-3-1-1	5,717 HP	0,4
04MOV-1007-3-1-1	9,287 HP	0,4
04MOV-1008-3-1-1	5,717 HP	0,4
04MOV-1011-3-1-1	9,287 HP	0,4
04MOV-1015-3-1-1	9,287 HP	0,4
04MOV-1051-3-1-1	5,717 HP	0,4
04MOV-1052-3-1-1	9,287 HP	0,4
04MOV-1053-3-1-1	5,717 HP	0,4
20XV-101/A-3-1-1	0,797 HP	0,4
20XV-201/A-3-1-1	0,797 HP	0,4

### 3.5 Arus Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

Mengetahui besar nilai arus hubung singkat ini diperlukan untuk mensetting rele pengaman yang dipasang pada suatu sistem kelistrikan. Penentuan arus hubung singkat pada tugas akhir ini dengan simulasi

pada *software* ETAP 12.6.0. Arus hubung singkat yang dipergunakan untuk melakukan *setting* koordinasi proteksi adalah arus hubung singkat minimum yaitu 30 *cycle line to line* dan arus hubung singkat maksimum yaitu 4 *cycle* 3 fasa.

### 3.5.1 Arus Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat antar fasa dalam keadaan *steady state* atau 30 *cycle*. Arus hubung singkat minimum ini diperlukan untuk mensetting rele 50 yaitu rele *overcurrent instantaneous time*. Digunakan sebagai batas dari *setting* waktu *instant*-nya. Sehingga apabila terjadi gangguan arus hubung singkat minimum maka rele ini akan bekerja secara *instant* sesuai dengan time delay yang ditentukan.

Berikut ini adalah hasil simulasi arus hubung singkat minimum 30 *cycle* pada sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik. Hasil simulasi hubung singkat minimum dapat dilihat pada Tabel 3.9 di bawah ini :

**Tabel 3.9 Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Minimum 30 *cycle***

No.	ID Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat Minimum 30 <i>cycle</i>
1.	20BUS86-1-1-1	20 kV	14,77 kA
2.	20kV MVSWGR-1-1-1	20 kV	12,54 kA
3.	Bus11A-3-1-1	20 kV	12,67 kA
4.	11kV MVSWGR-1-1-1	11 kV	14,74 kA
5.	Bus22EM-3-1-1	6,3 kV	10,55 kA
6.	Bus21A-3-1-1	6,3 kV	10,55 kA
7.	Bus21B-3-1-1	6,3 kV	10,55 kA
8.	Bus35EM-5-1-1	0,4 kV	25,46 kA
9.	Bus31A-4-1-1	0,4 kV	28,64 kA
10.	Bus31B-4-1-1	0,4 kV	28,66 kA
11.	Bus32A-4-1-1	0,4 kV	29,76 kA
12.	Bus32B-4-1-1	0,4 kV	29,72 kA
13.	Bus33A-4-1-1	0,4 kV	38,76 kA
14.	LVS-43EM-3-1-1	0,4 kV	33,87 kA
15.	Bus13-1-3-1-1	0,4 kV	8,04 kA
16.	MCC WWTP-3-1-1	0,4 kV	5,67 kA
17.	MCC WTP-3-1-1	0,4 kV	35,44 kA

**Tabel 3.9 Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle (lanjutan)**

No.	ID Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle
18.	Bus52-3-1-1	0,4 kV	27,11 kA
19.	Bus51-3-1-1	0,4 kV	27,11 kA
20.	PDP-342-3-1-1	0,4 kV	27,11 kA
21.	Bus33B-4-1-1	0,4 kV	38,75 kA
22.	MCC CONVEYOR-3-1-1	0,4 kV	11,16 kA
23.	Bus34-4-1-1	0,4 kV	14,32 kA
24.	6kV MVSWGR	0,4 kV	1,98 kA
25.	EMER SWGR	0,4 kV	11,34 kA
26.	LV1 SWGR	0,4 kV	11,34 kA
27.	LV2 SWGR	0,4 kV	12,88 kA

### 3.5.2 Arus Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum adalah arus hubung singkat 3 fasa dalam keadaan *transient* atau 4 cycle. Arus hubung singkat maksimum digunakan sebagai batas dari *setting* gangguan hubung singkat maksimum yang mungkin saja bisa terjadi. Arus hubung singkat maksimum dipilih waktu 4 cycle, karena berdasarkan IEEE Std 242-2001, waktu pemutusan CB setelah mendapat perintah dari rele adalah 1,5 cycle sampai 8 cycle.

Berikut ini adalah hasil simulasi arus hubung singkat maksimum 4 cycle pada sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 3.10.

**Tabel 3.10 Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle**

No.	ID Bus/Peralatan	Tegangan	Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle
1.	20BUS86-1-1-1	20 kV	18,04 kA
2.	20kV MVSWGR-1-1-1	20 kV	15,50 kA
3.	Bus11A-3-1-1	20 kV	15,65 kA
4.	11kV MVSWGR-1-1-1	11 kV	19,02 kA
5.	Bus22EM-3-1-1	6,3 kV	13,49 kA
6.	Bus21A-3-1-1	6,3 kV	13,49 kA
7.	Bus21B-3-1-1	6,3 kV	13,93 kA

**Tabel 3.10 Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle (lanjutan)**

<b>No.</b>	<b>ID Bus/Peralatan</b>	<b>Tegangan</b>	<b>Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle</b>
8.	Bus35EM-5-1-1	0,4 kV	32,05 kA
9.	Bus31A-4-1-1	0,4 kV	34,38 kA
10.	Bus31B-4-1-1	0,4 kV	34,44 kA
11.	Bus32A-4-1-1	0,4 kV	36,58 kA
12.	Bus32B-4-1-1	0,4 kV	36,48 kA
13.	Bus33A-4-1-1	0,4 kV	47,64 kA
14.	LVS-43EM-3-1-1	0,4 kV	41,29 kA
15.	Bus13-1-3-1-1	0,4 kV	9,34 kA
16.	MCC WWTP-3-1-1	0,4 kV	6,6 kA
17.	MCC WTP-3-1-1	0,4 kV	43,65 kA
18.	Bus52-3-1-1	0,4 kV	32,67 kA
19.	Bus51-3-1-1	0,4 kV	32,67 kA
20.	PDP-342-3-1-1	0,4 kV	32,67 kA
21.	Bus33B-4-1-1	0,4 kV	46,49 kA
22.	MCC CONVEYOR-3-1-1	0,4 kV	13,13 kA
23.	Bus34-4-1-1	0,4 kV	16,72 kA
24.	6kV MVSWGR	0,4 kV	2,68 kA
25.	EMER SWGR	0,4 kV	15,38 kA
26.	LV1 SWGR	0,4 kV	15,38 kA
27.	LV2 SWGR	0,4 kV	17,23 kA

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## **BAB IV**

### **HASIL SIMULASI KOORDINASI PROTEKSI PABRIK AMMUREA II PT. PETROKIMIA GRESIK**

#### **4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik**

Pemodelan sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik ini dilakukan dengan menggambar *single line diagram* dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Pembuatan *single line diagram* di *software* ETAP 12.6.0 ini memerlukan data – data sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik, diantaranya adalah data mengenai generator, beban berupa motor, *static load*, *lump load*, *motor operted valve*, kabel, transformator, rele, dll.

Langkah selanjutnya setelah pemodelan selesai dilakukan adalah menentukan arus hubung singkat pada sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik. Dimana arus hubung singkat tersebut meliputi arus hubung singkat maksimum (3 fasa 4 *cycle*) dan arus hubung singkat minimum (*line to line 30 cycle*) (data hubung singkat dapat dilihat pada bab 3, subbab 3.5, tabel 3.8 dan tabel 3.9). Arus hubung singkat ini didapatkan dengan simulasi pada *software* ETAP 12.6.0. Dimana arus hubung singkat ini akan menjadi pedoman untuk menentukan *setting* rele dan juga *setting* dari paramater pemutus daya (*circuit breaker*, *fuse*, kontaktor) yang terpasang pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik. Sehingga didapatkan koordinasi proteksi yang baik.

#### **4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik**

Tipikal dalam *setting* koordinasi proteksi dimaksudkan untuk mempermudah dalam melakukan koordinasi proteksi pada sebuah sistem kelistrikan. Dalam sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik ini dibuat 3 tipikal yang mewakili seluruh sistem kelistrikan. Yang mana pemilihan tipikal ini berdasarkan beban terbesar, saluran terpanjang dari sumber *grid* Petrokimia menuju ke beban, saluran terpendek dari sumber generator menuju ke beban, serta saluran yang menghubungkan sumber generator dan *grid* Petrokimia. Berikut ini



adalah penjelasan tentang pemilihan tipikal koordinasi proteksi sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik :

1. Tipikal 1 : Koordinasi sistem proteksi dari sumber GGCP menuju ke beban motor P21201A-3-1-1 dengan rating 1670 kW. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpendek dari sumber menuju ke beban. Beban yang dipilihpun merupakan beban terbesar pada bus 21-B-3-1-1 dengan tegangan rating bus 6,3 kV.
2. Tipikal 2 : Koordinasi sistem proteksi dari sumber *grid* Petrokimia menuju ke beban *static load* 270-ELP10-3-1-1 dengan rating sebesar 15,6 kVA. Pemilihan ini berdasarkan saluran terpanjang dari sumber dalam hal ini *grid* Petrokimia menuju ke beban *static load* 270-ELP10-3-1-1 pada bus 13-1-3-1-1 dengan tegangan rating bus 0,4 kV.
3. Tipikal 3 : Koordinasi sistem proteksi dari sumber GGCP menuju ke *grid* Petrokimia. Yang mana kedua sumber ini dihubungkan dengan bus 11A-3-1-1 dengan rating tegangan bus sebesar 20 kV. Pemilihan tipikal ini bertujuan untuk menentukan prioritas antara GGCP atau *link* menuju *grid* Petrokimia (interkoneksi ke Petro Raya) yang harus di *off* kan terlebih dahulu apabila terjadi gangguan pada bus 11A-3-1-1.

Untuk gangguan satu fasa ke tanah dipilih satu tipikal saja. Yaitu tipikal 1 (sama dengan tipikal gangguan fasa), koordinasi sistem proteksi dari sumber GGCP menuju ke beban motor P21201A-3-1-1 dengan rating 1670 Kw pada bus 21-B-3-1-1 dengan tegangan rating bus 6,3 Kv. Pemilihan tipikal 1 ini karena sudah mencakup sistem pengaman gangguan fasa ke tanah seluruh sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik.

Untuk pemilihan tipikal koordinasi proteksi pada Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik, dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini :



### 4.3 Sistem Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Gangguan Fasa

Seperti yang dijelaskan pada bab 2, rele *overcurrent* berfungsi untuk melindungi suatu sistem kelistrikan terhadap gangguan fasa baik berupa gangguan hubung singkat maupun gangguan *overload*. Dimana pada suatu industri, tidak hanya terdapat sebuah rele yang berfungsi sebagai pengaman apabila terjadi gangguan. Sehingga koordinasi proteksi yang dimaksudkan adalah koordinasi dari seluruh peralatan pengaman sistem kelistrikan pada sebuah industri. Tujuan dari pengoordinasian rele adalah rele dapat bekerja sesuai dengan fungsinya dengan tepat. Misalnya ketika terjadi gangguan pada sebuah beban, maka rele terdekatlah yang akan bekerja untuk mengamankan sistem kelistrikan agar gangguan tidak meluas. Namun untuk meningkatkan keandalan, terdapat pula rele *backup* yang letaknya paling dekat dengan rele pengaman utama (1 tingkat di atasnya) dari sumber gangguan. Rele *backup* ini bekerja dengan memiliki waktu *delay*. Sehingga tidak akan menyebabkan rele bekerja secara bersamaan apabila terjadi gangguan.

Waktu *delay* yang dimaksud adalah *grading time* antara rele satu dengan rele yang lainnya. Dimana menurut standart IEEE 242, *grading time* antar rele adalah 0,2 s – 0,4 s.

Dalam pengoordinasian rele, dilakukan *setting* untuk *low set*, *high set*, *time dial*, dan juga *time delay*-nya. Setelah *setting* tersebut dilakukan, selanjutnya tipikal diplot menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dengan perintah *star protective device coordination*. Sehingga dapat dilihat *time current curve* masing – masing rele apakah sudah sesuai dengan *setting* yang diharapkan. Ketika melakukan *setting* rele, harus diperhatikan pula mengenai kurva motor, *in rush trafo*, dan juga *damage curve* trafo.

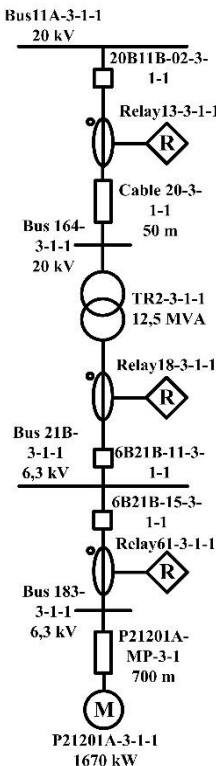
### 4.4 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 1

Seperti yang dijelaskan pada subbab 4.2, pemilihan tipikal 1 ini berdasarkan jalur terpendek dari sumber GGCP menuju ke beban. Yang mana pemilihan beban adalah beban terbesar, yaitu beban motor P21201A-3-1-1 dengan rating 1670 kW. Dikarenakan Pabrik Ammurea II merupakan pabrik baru, yang sedang dibangun oleh PT. Petrokimia Gresik, maka tidak ada data eksisting dan perlu *disetting* dari awal. Pada tipikal 1 ini terdapat 8 rele yang harus dikoordinasikan.

Dikarenakan banyaknya rele yang perlu *disetting*, maka pada tipikal 1 ini dipecah menjadi tipikal 1A dan juga 1B. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam pembacaan *time current curvenya*.

#### 4.4.1 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 1A

Pada tipikal 1A, terdapat 3 buah rele. Yaitu rele 61-3-1-1 yang berfungsi sebagai pengaman motor P21201A-3-1, kemudian rele 18-3-1-1 dan rele 13-3-1-1 yang berfungsi sebagai pengaman trafo TR2-3-1-1 dengan rating 12,5 MVA. Berikut ini adalah *single line diagram* tipikal 1A yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 :



**Gambar 4.2** *Single Line Diagram* Tipikal 1A

Berikut ini adalah perhitungan *high set*, *low set*, *time dial*, dan *time delay* untuk *setting* pada rele – rele di tipikal 1A.

**a. Rele 61-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	= Siemens
Model	= 7SJ62
FLA motor P21201A-3-1	= 186,7 A
<i>Curve Type</i>	= IEC – <i>Extremely Inverse</i>
CT ratio	= 300 / 1

1. *Time Overcurrent Pickup*

$$1,05 \times \text{FLA mtr P21201A-3-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA mtr P21201A-3-1}$$

$$1,05 \times 186,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 186,7$$

$$196,035 < \text{Iset} < 261,38$$

$$\frac{196,035}{300/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{261,38}{300/1} \text{ In}$$

$$0,65 \text{ In} < \text{tap} < 0,87 \text{ In}$$

(*pickup range* 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,7 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,7 \times \frac{300}{1} \\ &= 210 \text{ A} \end{aligned}$$

2. *Time Dial*

Waktu operasi (t) = 0,1 detik

Isc kontribusi max 4cycle bus 183-3-1-1 = 9440 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,1 = \frac{80}{\left(\frac{9440}{210}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 201,97$$

$$tp = 2,52$$

dipilih *time dial* = 2,52

3. *Instantaneous Pickup*

Isc kontribusi min bus 183-3-3-1-1 = 7760 A

1,6 x FLA mtr P21201A-3-1 < I<sub>>></sub> < 0,8 x Isc min bus 183-3-3-1-1

$$1,6 \times 186,7 < I_{>>} < 0,8 \times 7760$$

$$298,72 < I_{>>} < 6208$$

$$\frac{298,72}{300/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{6208}{300/1} \text{ In}$$

$$0,9957 \text{ In} < \text{tap} < 20,69 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,94 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 2,94 \times \frac{300}{1} \\ &= 882 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

### b. **Rele 18-3-1-1**

*Manufacture* = Siemens

*Model* = 7SJ62

FLA sekunder Trafo TR2-3-1-1 = 1146 A

*Curve Type* = IEC – *Extremely Inverse*

*CT ratio* = 1600 / 1

#### 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1}$$

$$1,05 \times 1146 < \text{Iset} < 1,4 \times 1146$$

$$1203,3 < \text{Iset} < 1604,4$$

$$\frac{1203,3}{1600/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1604,4}{1600/1} \text{ In}$$

$$0,752 \text{ In} < \text{tap} < 1,00 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,8 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,8 \times \frac{1600}{1} \\ &= 1280 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,3 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 21B-3-1-1 = 12280 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,3 = \frac{80}{\left(\frac{12280}{1280}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 27,31$$

tp = 0,34  
 dipilih *time dial* = 1,6

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 21B-3-1-1 = 10550 A

1,6 x FLA sek TR2-3-1-1 < I<sub>>></sub> < 0,8 x Isc min bus 21B-3-1-1

1,6 x 1146 < I<sub>>></sub> < 0,8 x 10550

1833,6 < I<sub>>></sub> < 8440

$\frac{1833,6}{1600/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{8440}{1600/1} \text{ In}$

1,146 In < tap < 5,275 In

(*pickup range* 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,95 In

Iset = 1,95 x  $\frac{1600}{1}$   
 = 3120 A

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

c. **Rele 13-3-1-1**

*Manufacture* = Siemens

*Model* = 7SJ62

FLA sekunder Trafo TR2-3-1-1 = 360,8 A

*Curve Type* = IEC – *Extremely Inverse*

*CT ratio* = 500 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

1,05 x FLA pmr TR2-3-1-1 < Iset < 1,4 x FLA pmr TR2-3-1-1

1,05 x 360,8 < Iset < 1,4 x 360,8

378,84 < Iset < 505,12

$\frac{378,84}{500/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{505,12}{500/1} \text{ In}$

0,76 In < tap < 1,01 In

(*pickup range* 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,8 In

Iset = 0,8 x  $\frac{500}{1}$   
 = 400 A

2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,3 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 164-3-1-1 = 15210 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,3 = \frac{80}{\left(\frac{15210}{400}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 433,47$$

$$tp = 5,41$$

dipilih *time dial* = 1,6

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 164-3-1-1 = 12600 A

$$1,6 \times FLA \text{ pmr TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 164-3-1-1}$$

$$1,6 \times 360,8 < I_{>>} < 0,8 \times 12600$$

$$577,28 < I_{>>} < 10080$$

$$\frac{577,28}{500/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{10080}{500/1} \text{ In}$$

$$1,154 \text{ In} < \text{tap} < 20,16 \text{ In}$$

(*pickup range* 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,66 In

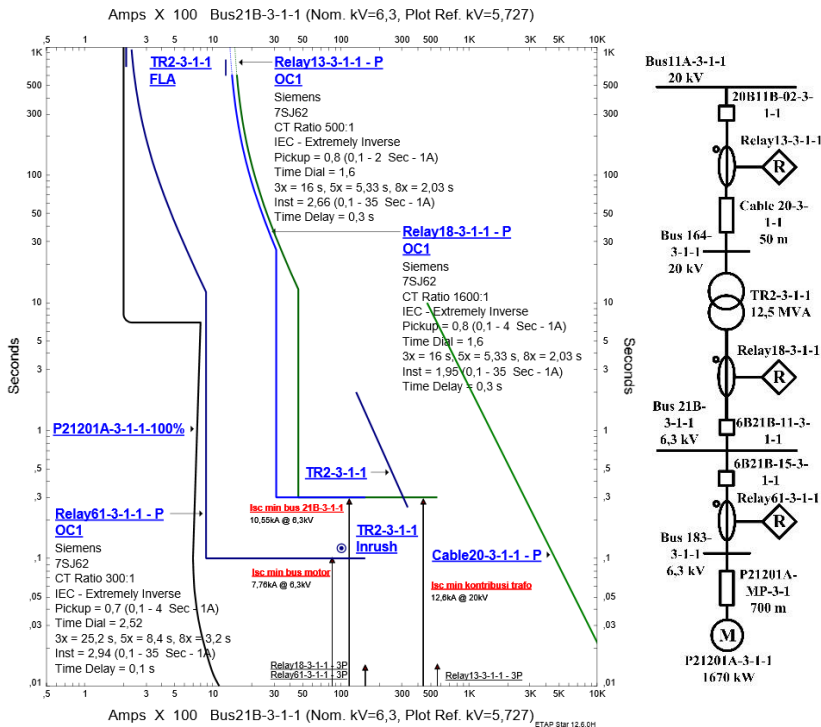
$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 2,66 \times \frac{500}{1} \\ &= 1330 \text{ A} \end{aligned}$$

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

Selanjutnya, setelah rele *disetting* sesuai dengan perhitungan di atas, kemudian rele – rele tersebut diplot *time current curve*-nya menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Sehingga menghasilkan *time current curve* seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.





**Gambar 4.3 Time Current Curve Tipikal 1A**

Hasil plot *time current curve* pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa rele – rele tersebut *settingan*-nya sudah benar dan aman. Hal tersebut diketahui bahwa apabila terjadi arus hubung singkat minimum pada bus 183-3-1-1 (bus motor), maka rele 61-3-1-1 yang akan bekerja pertama, dan mengenai kurva instannya sebagai pengaman motor P21201A-3-1-1-121B-3-1-1. Apabila terjadi arus hubung singkat minimum pada bus 21B-3-1-1, maka rele 18-3-1-1 akan bekerja, mengenai kurva instannyanya, dan rele 13-3-1-1 sebagai *backup* nya. Namun karena kedua rele tersebut memiliki *setting time delay* yang sama, maka kedua rele tersebut akan bekerja bersamaan. Dan apabila terjadi hubung singkat minimum pada bus 164-3-1-1, maka rele yang

bekerja sebagai pengaman utama adalah rele 13-3-1-1. Untuk *setting* untuk *grading time*-nya sudah memenuhi standart IEEE-242 yaitu 0,2 s.

Berikut ini adalah *sequence viewer* apabila terjadi gangguan hubung singkat minimum 30 *cycle* pada bus 183-3-1-1, dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini :

**Tabel 4.1 Sequence Viewer gangguan pada bus 183-3-1-1**

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus183-3-1-1</i>					
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
1.	100	Relay61-3-1-1	7,394	100	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	170	6B21B-15-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay61-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
3.	300	Relay13-3-1-1	2,445	300	<i>Phase-OC1-50</i>
4.	300	Relay18-3-1-1	7,394	300	<i>Phase-OC1-50</i>
5.	370	6B21B-11-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay18-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
6.	370	20B11B-02-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay13-3-1-1 Phase-OC1-50</i>

Pada Tabel 4.1, terlihat apabila terjadi gangguan minimum 30 *cycle*, *line to line* maka rele yang pertama kali bekerja adalah rele 61-3-1-1. Kemudian sebagai *backup*nya adalah rele 18-3-1-1. Namun pada Tabel 4.1 *sequence viewer* di atas terlihat rele 13-3-1-1 bekerja dahulu, hal tersebut dikarenakan kedua rele memiliki *setting time delay* yang sama dan rele 13-3-1-1 memiliki ID dengan alfabet lebih awal dibanding rele 18-3-1-1 maka rele 13-3-1-1 yang tertulis lebih dahulu.

Berikut ini adalah tabel *sequence viewer* apabila terjadi gangguan hubung singkat minimum 30 *cycle line to line* pada bus 21B-3-1-1, dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini :

**Tabel 4.2 Sequence Viewer gangguan pada bus 21B-3-1-1**

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus21B-3-1-1</i>					
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
1.	300	Relay13-3-1-1	3,489	300	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	300	Relay18-3-1-1	10,552	300	<i>Phase-OC1-50</i>

**Tabel 4.2 Sequence Viewer gangguan pada bus 21B-3-1-1 (lanjutan)**

No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
3.	370	6B21B-11-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay18-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
4.	370	20B11B-02-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay13-3-1-1 Phase-OC1-50</i>

Pada Tabel 4.2, terlihat bahwa apabila terjadi gangguan pada bus 21B-3-1-1, maka rele 18-3-1-1 akan bekerja pada waktu 300 ms, kemudian sebagai *backupnya* yaitu rele 13-3-1-1. Untuk rele yang melindungi trafo, yaitu rele 18-3-1-1 dan juga rele 13-3-1-1 *time delay*-nya sama 0,3 s. Pemilihan *time delay* 0,3 s disamakan karena mempertimbangkan besar *Isc* minimum kontribusi 30 *cycle line to line* pada bus di atas trafo TR-2-3-1-1 (bus 11A-3-1-1 20 kV) sebesar 2,45 Ka lebih kecil dibanding bus di bawahnya (bus 164-3-1-1 20 kV) sebesar 12,6 kA. Sehingga apabila rele 13-3-1-1 dibuat reset 0,1 s, akan menyebabkan *time current curve*-nya saling bertabrakan. Hal tersebut sangat dihindari ketika *mensetting* rele. Agar rele-rele tidak bekerja bersamaan dan saling terkoordinasi dengan baik.

Berikut ini adalah *sequence viewer* apabila terjadi gangguan hubung singkat minimum 30 *cycle line to line* pada bus 164-3-1-1, dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini :

**Tabel 4.3 Sequence Viewer gangguan pada bus 164-3-1-1**

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus164-3-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
1.	300	Relay13-3-1-1	12,6	300	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	370	20B11B-02-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay13-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
3.	700	Relay5-2-2-1	5.206	700	<i>Phase-OC1-50</i>
4.	700	Relay5-3-3-1	2.436	700	<i>Phase-OC1-50</i>
5.	700	Relay8-1-1-1	2.436	700	<i>Phase-OC1-50</i>
6.	700	Relay11-3-1-1	2.436	700	<i>Phase-OC1-50</i>

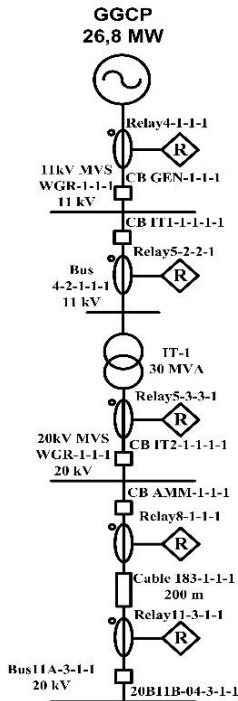
**Tabel 4.3** *Sequence Viewer* gangguan pada bus 164-3-1-1 (lanjutan)

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus164-3-1-1</i>					
No.	<i>Time (ms)</i>	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
7.	770	20B11B-04-3-1-1	2.436	70,0	<i>Tripped by Relay11-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
8.	770	CB AMM-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay8-1-1 Phase-OC1-50</i>
9.	770	CB IT1-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-2-2-1 Phase-OC1-50</i>
10.	770	CB IT2-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-3-3-1 Phase-OC1-50</i>
11.	900	Relay4-1-1-1	5,206	900	<i>Phase-OC1-50</i>
12.	970	CB GEN-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay4-1-1 Phase-OC1-50</i>

Pada Tabel 4.3 *sequence viewer* apabila terjadi gangguan pada bus 164-3-1-1, maka rele13-3-1-1 akan bekerja sebagai pengaman utamanya pada waktu 300 ms. Dan rele 11-3-1-1 berfungsi sebagai rele *backupnya*. Namun, untuk *setting* dari rele *backupnya* akan dijelaskan pada sub subbab 4.5.2, koordinasi rele *overcurrent* tipikal 1B.

#### **4.4.2 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 1B**

Pada tipikal 1B ini terdapat 5 rele yang *disetting*. Rele 11-3-1-1 dan rele 8-1-1-1 melindungi kabel 183-1-1-1, kedua rele tersebut akan *disetting* sama. Rele 5-3-3-1 dan rele 5-2-2-1 adalah rele yang melindungi trafo IT-1-1-1 dengan rating 30 MVA. Dan rele terakhir pada tipikal 1B adalah rele 4-1-1-1 yang berfungsi mengamankan generator GGCP 26,8 MW. Berikut ini adalah Gambar 4.4 *single line diagram* tipikal 1B :



**Gambar 4.4 Single Line Diagram Tipikal 1B**

Berikut ini adalah perhitungan *high set*, *low set*, *time dial*, dan *time delay* untuk *setting* pada rele – rele di tipikal 1B.

**a. Rele 11-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	= Siemens
<i>Model</i>	= 7SJ62
FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1	= 866 A
<i>Curve Type</i>	= IEC – <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT ratio</i>	= 1000 / 1

1. *Time Overcurrent Pickup*

$$1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1}$$

$$1,05 \times 866 < \text{Iset} < 1,4 \times 866$$

$$909,3 < \text{Iset} < 1212,4$$

$$\frac{909,3}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} \text{ In}$$

$$0,9093 \text{ In} < \text{tap} < 1,2124 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,92 In

$$\text{Iset} = 0,92 \times \frac{1000}{1}$$

$$= 920 \text{ A}$$

2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 11A-3-1-1 = 3160 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{3160}{920}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 7,56$$

$$tp = 0,094$$

dipilih time dial = 3,75

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 2450 A

$$1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21B-3-1-1}$$

$$1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2450$$

$$1385,6 < I_{>>} < 1960$$

$$\frac{1385,6}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1960}{1000/1} \text{ In}$$

$$1,3856 \text{ In} < \text{tap} < 1,96 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,8 In

$$\text{Iset} = 1,8 \times \frac{1000}{1}$$

$$= 1800 \text{ A}$$

4. Time Delay

Dipilih time delay = 0,7 s

**b. Rele 8-3-1-1**

Manufacture = Schneider Electric

Model = Sepam Series 10

FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1 = 866 A  
 Curve Type = IEC *Extremely Inverse Time*  
 CT ratio = 1000 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} \\
 1,05 \times 866 &< \text{Iset} < 1,4 \times 866 \\
 909,3 &< \text{Iset} < 1212,4 \\
 \frac{909,3}{1000/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} \text{ In} \\
 0,9093 \text{ In} &< \text{tap} < 1,2124 \text{ In} \\
 (\text{pickup range } 0,1\text{In} - 4\text{In sekunder CT} - 1\text{A; step } 0,01\text{In}) \\
 \text{Dipilih tap} &= 0,92 \text{ In} \\
 \text{Iset} &= 0,92 \times \frac{1000}{1} \\
 &= 920 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2. Time Dial

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu operasi (t)} &= 0,7 \text{ detik} \\
 \text{Isc max 4cycle bus 11A-3-1-1} &= 3160 \text{ A} \\
 t &= \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} \times \text{TMS} \\
 0,7 &= \frac{80}{\left(\frac{3160}{920}\right)^2 - 1} \times \text{TMS} \\
 80\text{TMS} &= 7,56 \\
 \text{TMS} &= 0,094 \\
 \text{dipilih time dial} &= 3,75
 \end{aligned}$$

3. Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 \text{Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1} &= 2450 \text{ A} \\
 1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} &< \text{I}_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21B-3-1-1} \\
 1,6 \times 866 &< \text{I}_{>>} < 0,8 \times 2450 \\
 1385,6 &< \text{I}_{>>} < 1960 \\
 \frac{1385,6}{1000/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{1960}{1000/1} \text{ In} \\
 1,3856 \text{ In} &< \text{tap} < 1,96 \text{ In} \\
 (\text{pickup range } 0,1\text{In} - 35\text{In sekunder CT} - 1\text{A; step } 0,01\text{In}) \\
 \text{Dipilih tap} &= 1,8 \text{ In} \\
 \text{Iset} &= 1,8 \times \frac{1000}{1}
 \end{aligned}$$

$$= 1800 \text{ A}$$

4. Time Delay

$$\text{Dipilih time delay} = 0,7 \text{ s}$$

**c. Rele 5-3-3-1**

*Manufacture* = Siemens

*Model* = 7SJ62

*FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1* = 866 A

*Curve Type* = IEC – *Extremely Inverse*

*CT ratio* = 1000 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1}$$

$$1,05 \times 866 < \text{Iset} < 1,4 \times 866$$

$$909,3 < \text{Iset} < 1212,4$$

$$\frac{909,3}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} \text{ In}$$

$$0,9093 \text{ In} < \text{tap} < 1,2124 \text{ In}$$

(*pickup range* 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

$$\text{Dipilih tap} = 0,92 \text{ In}$$

$$\text{Iset} = 0,92 \times \frac{1000}{1}$$

$$= 920 \text{ A}$$

2. Time Dial

$$\text{Waktu operasi (t)} = 0,7 \text{ detik}$$

$$\text{Isc max kontribusi 4cycle bus 20kV MVSWGR-1-1-1} = 3170 \text{ A}$$

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{3170}{920}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 7,61$$

$$tp = 0,095$$

$$\text{dipilih time dial} = 3,75$$

3. Instantaneous Pickup

$$\text{Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1} = 2460 \text{ A}$$

$$1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min 20kV MVSWGR-1-1-1}$$

$$1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2460$$



$$\begin{aligned}
1385,6 < I_{>>} < 1968 \\
\frac{1385,6}{1000/1} I_n < \text{tap} < \frac{1968}{1000/1} I_n \\
1,3856 I_n < \text{tap} < 1,968 I_n \\
(\text{pickup range } 0,1I_n - 35I_n \text{ sekunder CT} - 1A; \text{ step } 0,01I_n) \\
\text{Dipilih tap} &= 1,8 I_n \\
\text{Iset} &= 1,8 \times \frac{1000}{1} \\
&= 1800 \text{ A}
\end{aligned}$$

4. Time Delay  
Dipilih *time delay* = 0,7 s

**d. Rele 5-2-2-1**

$$\begin{aligned}
\text{Manufacture} &= \text{Siemens} \\
\text{Model} &= 7SJ62 \\
\text{FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1} &= 1575 \text{ A} \\
\text{Curve Type} &= \text{IEC} - \text{Extremely Inverse} \\
\text{CT ratio} &= 1800 / 1
\end{aligned}$$

1. Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
1,05 \times \text{FLA pmr IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA pmr IT-1-1-1-1} \\
1,05 \times 1575 < \text{Iset} < 1,4 \times 1575 \\
1653,75 < \text{Iset} < 2205 \\
\frac{1653,75}{1800/1} I_n < \text{tap} < \frac{2205}{1800/1} I_n \\
0,92 I_n < \text{tap} < 1,225 I_n \\
(\text{pickup range } 0,1I_n - 4I_n \text{ sekunder CT} - 1A; \text{ step } 0,01I_n) \\
\text{Dipilih tap} &= 1,14 I_n \\
\text{Iset} &= 1,14 \times \frac{1800}{1} \\
&= 2052 \text{ A}
\end{aligned}$$

2. Time Dial

$$\begin{aligned}
\text{Waktu operasi (t)} &= 0,7 \text{ detik} \\
\text{Isc max kontribusi } 4\text{cycle bus 4-2-1-1-1} &= 10360 \text{ A} \\
t &= \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp \\
0,7 &= \frac{80}{\left(\frac{10360}{2052}\right)^2 - 1} \times tp
\end{aligned}$$

$$80tp = 17,143$$

$$tp = 0,214$$

dipilih *time dial* = 4,13

### 3. Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} \text{Isc kontribusi min bus 4-2-1-1-1} &= 7450 \text{ A} \\ 1,6 \times \text{FLA pmr TR2-3-1-1} &< I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 4-2-1-1-1} \\ 1,6 \times 1575 &< I_{>>} < 0,8 \times 7450 \\ 2520 &< I_{>>} < 5960 \\ \frac{2520}{1800/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{5960}{1800/1} \text{ In} \\ 1,4 \text{ In} &< \text{tap} < 3,31 \text{ In} \\ (\text{pickup range } 0,1\text{In} - 35\text{In} \text{ sekunder CT} - 1\text{A; step } 0,01\text{In}) \\ \text{Dipilih tap} &= 2,4 \text{ In} \\ \text{Iset} &= 2,4 \times \frac{1800}{1} \\ &= 4320 \text{ A} \end{aligned}$$

### 4. Time Delay

$$\text{Dipilih } \text{time delay} = 0,7 \text{ s}$$

## e. **Rele 4-1-1-1**

<i>Manufacture</i>	= GE Multilin
<i>Model</i>	= 489
<i>FLA generator GGCP</i>	= 1655 A
<i>Curve Type</i>	= IEC – C
<i>CT ratio</i>	= 1800 / 1

### 1. Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA generator GGCP} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA generator GGCP} \\ 1,05 \times 1655 &< \text{Iset} < 1,4 \times 1655 \\ 1737,75 &< \text{Iset} < 2317 \\ \frac{1737,75}{1800/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{2317}{1800/1} \text{ In} \\ 0,965 \text{ In} &< \text{tap} < 1,287 \text{ In} \\ (\text{pickup range } 0,15 - 20 \times \text{CT sekunder; step } 0,01\text{In}) \\ \text{Dipilih tap} &= 1,16 \text{ In} \\ \text{Iset} &= 1,16 \times \frac{1800}{1} \\ &= 2088 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Time Dial

Waktu operasi (T) = 0,9 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 11kV MVSWGR 1-1-1 = 10160 A

$$T = M \times \frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^E - 1}$$

$$0,9 = M \times \frac{80}{\left(\frac{10160}{2088}\right)^2 - 1}$$

$$80M = 20,41$$

$$M = 0,255$$

dipilih *time dial* = 5,58

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11kV MVSWGR 1-1-1 = 7450 A

1,6 x FLA generator < I<sub>>></sub> < 0,8 x Isc min 11kV MVSWGR 1-1-1

$$1,6 \times 1655 < I_{>>} < 0,8 \times 7450$$

$$2648 < I_{>>} < 5960$$

$$\frac{2648}{1800/1} I_n < \text{tap} < \frac{5960}{1800/1} I_n$$

$$1,47 I_n < \text{tap} < 3,31 I_n$$

(*pickup range* 0,15 – 20 xCT sekunder; step 0,01In)

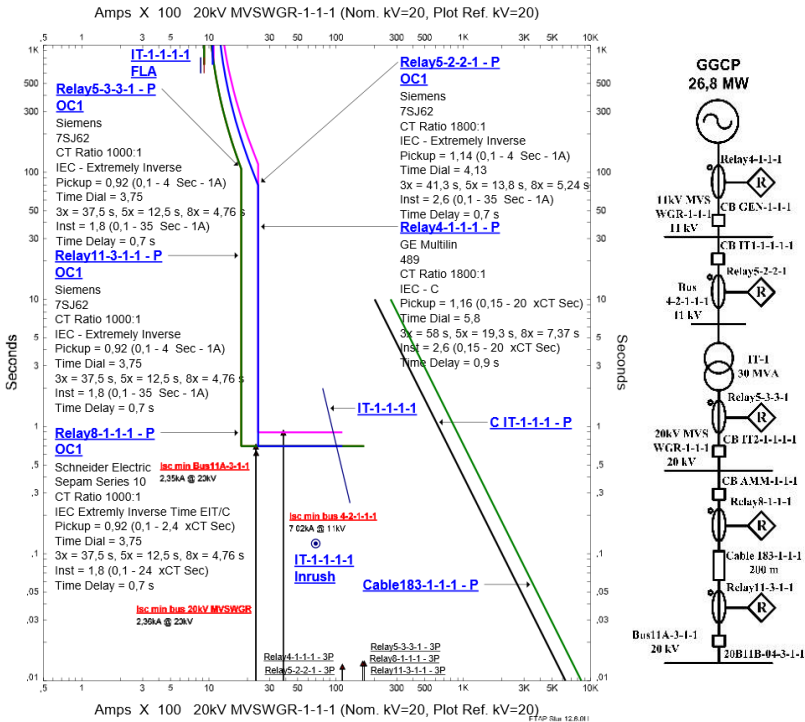
Dipilih tap = 2,4 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 2,4 \times \frac{1800}{1} \\ &= 4320 \text{ A} \end{aligned}$$

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,9 s

Selanjutnya, setelah rele *disetting* sesuai dengan perhitungan di atas, kemudian rele – rele tersebut diplot *time current curve*-nya menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Sehingga menghasilkan kurva seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 di bawah ini :



**Gambar 4.5 Time Current Curve Tipikal 1B**

Hasil plot *time current curve* pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa rele – rele tersebut *settingan*-nya sudah bagus dan aman. Hal tersebut diketahui bahwa apabila terjadi arus hubung singkat minimum 30 *cycle line to line* pada bus 11A-3-1-1, maka rele 11-3-1-1 akan bekerja sebagai rele utamanya. Namun dikarenakan rele 11-3-1-1, rele 8-1-1-1, rele 5-3-1-1 memiliki *settingan* yang sama, maka apabila terjadi gangguan, maka ketiga rele tersebut akan bekerja bersamaan.

Apabila terjadi gangguan minimum 30 *cycle line to line* pada bus 20kV MVSWGR-1-1-1, maka rele 5-3-3-1 akan bekerja sebagai pengamanan utamanya, dan mengenai kurva instannya (rele 50 yang bekerja). Serta *setting* untuk *grading time*-nya sudah memenuhi standart IEEE-242 yaitu 0,2 s.

Untuk tipikal 1B ini, terdapat beberapa pengecualian. Untuk rele 11-3-1-1, rele 8-1-1-1, dan rele 5-3-3-1, ketiganya memiliki nilai *setting* yang sama. Hal ini dikarenakan ketiga rele tersebut berada pada tegangan yang sama, nilai arus hubung singkat minimum ketiga rele tersebut sama, dan rele – rele tersebut memiliki nilai *setting* FLA yang sama, karena ketiganya terletak di bawah trafo IT-1-1-1-1. Untuk rele 5-2-2-1 seharusnya *time delay* nya dapat reset 0,1 s. Namun dikarenakan kapasitas trafo yang lebih besar, yaitu 30 MVA daripada kapasitas generator 26 MW, sehingga selisih arus hubung singkat maksimum 4 *cycle 3 phase* di bus bawah trafo IT-1-1-1-1 (bus 20kV MVSWGR-1-1-1) 5,76 kA dengan arus hubung singkat minimum 30 *cycle line to line* bus di atas trafo (bus 4-2-1-1-1) 5,96 kA terlalu kecil, maka rele tersebut tidak dibuat reset ke 0,1 s.

Berikut ini adalah *sequence viewer* apabila terjadi gangguan 30 *cycle line to line* pada bus 11A-3-1-1, terlihat pada Tabel 4.4 di bawah ini :

**Tabel 4.4** *Sequence Viewer* gangguan pada bus 11A-3-1-1 (Tipikal 1)

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus11A-3-1-1</i>					
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
1.	700	Relay5-2-2-1	5.233	700	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	700	Relay5-3-3-1	2.449	700	<i>Phase-OC1-50</i>
3.	700	Relay8-1-1-1	2.449	700	<i>Phase-OC1-50</i>
4.	700	Relay11-3-1-1	2.449	700	<i>Phase-OC1-50</i>
5.	770	20B11B-04-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay11-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
6.	770	CB AMM-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay8-1-1-1 Phase-OC1-50</i>
7.	770	CB IT1-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-2-2-1 Phase-OC1-50</i>
8.	770	CB IT2-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-3-3-1 Phase-OC1-50</i>
9.	900	Relay4-1-1-1	5,233	900	<i>Phase-OC1-50</i>
10.	970	CB GEN-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay4-1-1-1 Phase-OC1-50</i>

Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa apabila terjadi gangguan pada bus 11A-3-1-1, maka rele yang akan bekerja dengan waktu 700 ms adalah rele 5-2-2-1, rele 5-3-3-1, rele 8-1-1-1 dan rele 11-3-1-1. Hal ini dikarenakan keempat rele tersebut memiliki *setting time delay* yang sama yaitu 0,7 s. Hanya penamaan rele yang menyebabkan urutan pada *sequence viewer* yang bekerja rele 5-2-2-1 terlebih dahulu. Kemudian pada 900 ms, rele 4-1-1-1 akan bekerja sebagai rele *backup* nya.

Pada Tabel 4.5 di bawah ini adalah *sequence viewer* apabila terjadi gangguan 30 cycle line to line pada bus 20kV MVSWGR-1-1-1 :

**Tabel 4.5 Sequence Viewer gangguan pada bus 20kV MVSWGR-1-1-1**

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: 20kV MVSWGR-1-1-1</i>					
No.	<i>Time (ms)</i>	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
1.	700	Relay5-2-2-1	5.247	700	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	700	Relay5-3-3-1	2.455	700	<i>Phase-OC1-50</i>
3.	770	CB IT1-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-2-2-1 Phase-OC1-50</i>
4.	770	CB IT2-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-3-3-1 Phase-OC1-50</i>
5.	900	Relay4-1-1-1	5,247	900	<i>Phase-OC1-50</i>
6.	970	CB GEN-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay4-1-1-1 Phase-OC1-50</i>

Pada Tabel 4.5, apabila terjadi gangguan pada bus 20kV MVSWGR-1-1-1 maka rele yang bekerja adalah rele 5-3-3-1 sebagai rele utamanya. Namun dikarenakan *setting* dari rele 5-3-3-1 dan 5-2-2-1 sama maka pada *sequence viewer* untuk rele 5-2-2-1 merupakan rele pertama yang bekerja. Karena rele 5-2-2-1 memiliki nama ID yang lebih dahulu dibanding rele 5-3-3-1. Kemudian untuk *backup* nya adalah rele 4-1-1-1 dengan *time delay* 900 ms.

## 4.5 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 2

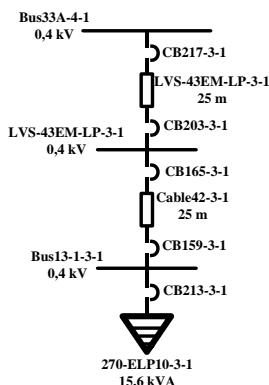
Pemilihan tipikal 2 ini berdasarkan saluran terpanjang dari grid PETROKIMIA menuju beban *static load* 270-ELP10-3-1-1 dengan

rating 15,4 kVA yang terletak di dalam *composite network* 342-EMDP01-3-1-1, dimana *composite network* tersebut berada di dalam *composite network* pula, yaitu LVS 43EM-3-1-1 pada Bus33A-4-1-1 dengan tegangan 0,4 kV.

Pada tipikal ini terdapat 4 rele, 1 ACB, 5 MCCB yang harus dikoordinasikan. Oleh karena itu, pada tipikal 2 ini dibuat menjadi 2 bagian. Yaitu tipikal 2A dan tipikal 2B.

#### 4.5.1 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 2A

Pada tipikal 2A ini, terdapat 5 MCCB. Yang mana *setting* MCCB ini bersifat permanen atau tidak dapat diganti, hanya dapat mengganti nilai parameter – parameter yang diperlukan saja. Berikut ini adalah *single line diagram* tipikal 2A, dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah ini :



**Gambar 4.6** *Single Line Diagram* Tipikal 2A

Berikut ini adalah parameter pada *setting* pada MCCB tipikal 2A :

##### a. CB213-3-1-1

<i>Manufacture</i>	= Merlin Gerin
<i>Model</i>	= C60L - C Curve IEC
<i>Size</i>	= 25
<i>Rated Amps</i>	= 25
<i>Making</i>	= 17
<i>Ultimated Breaking</i>	= 25

*Service Breaking* = 12,5  
*Min Delay* = 0,1

**b. CB159-3-1-1**

*Manufacture* = Merlin Gerin  
*Model* = C60L - C Curve IEC  
*Size* = 50  
*Rated Amps* = 50  
*Making* = 40  
*Ultimated Breaking* = 25  
*Service Breaking* = 12,5  
*Min Delay* = 0,1

**c. CB165-3-1-1**

*Manufacture* = Merlin Gerin  
*Model* = C60L - C Curve IEC  
*Size* = 50  
*Rated Amps* = 50  
*Making* = 105  
*Ultimated Breaking* = 25  
*Service Breaking* = 12,5  
*Min Delay* = 0,1

**d. CB203-3-1-1**

*Manufacture* = Merlin Gerin  
*Model* = C60L - C Curve IEC  
*Size* = 50  
*Rated Amps* = 50  
*Making* = 105  
*Ultimated Breaking* = 25  
*Service Breaking* = 12,5  
*Min Delay* = 0,1

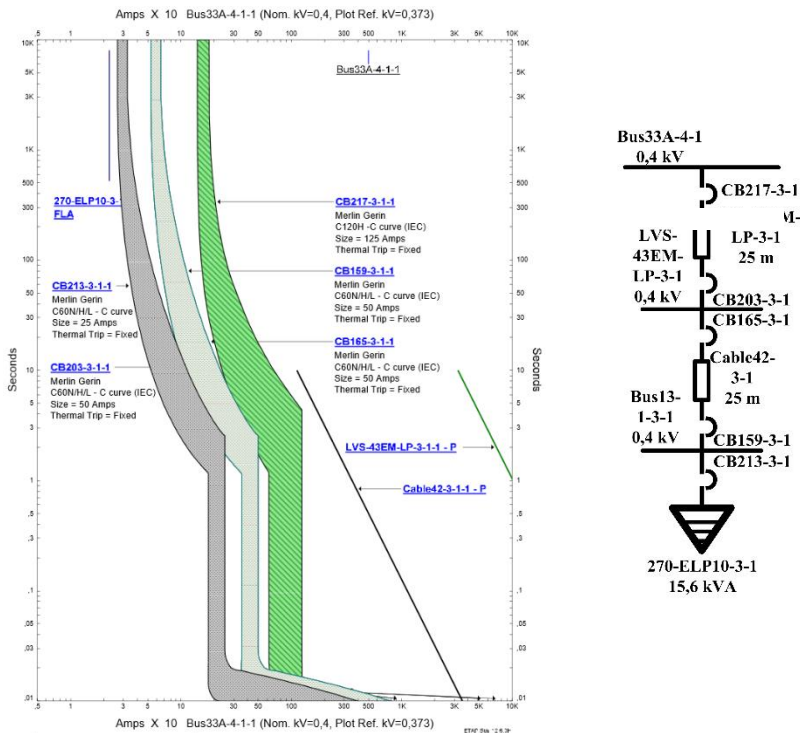
**e. CB217-3-1-1**

*Manufacture* = Merlin Gerin  
*Model* = C60L - C Curve IEC  
*Size* = 50  
*Rated Amps* = 50



<i>Making</i>	= 105
<i>Ultimated Breaking</i>	= 25
<i>Service Breaking</i>	= 12,5
<i>Min Delay</i>	= 0,1

Selanjutnya, setelah MCCB disetting, kemudian MCCB tersebut diplot *time current curve*-nya menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Sehingga menghasilkan kurva seperti yang terlihat pada Gambar 4.7 di bawah ini :

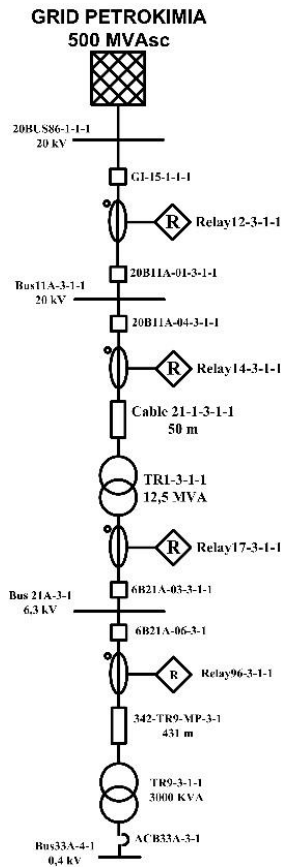


**Gambar 4.7 Time Current Curve Tipikal 2A**

Hasil plot *time current curve* pada gambar 4.7 di atas, dapat dilihat bahwa *setting* MCCB tersebut *settingan*-nya sudah aman dan tepat.

#### 4.5.2 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 2B

Pada tipikal 2B ini, terdapat 1 ACB dan 4 rele yang harus dikoordinasikan. Yang mana ACB33A-3-1 dan juga rele 96-3-1-1 berfungsi untuk mengamankan trafo 9-3-1-1 dengan rating 3000 kVA. Sedangkan rele 17-3-1-1 dan rele 14-3-1-1 berfungsi untuk melindungi TR1-3-1-1 dengan rating 12,5 MVA. Serta rele 12-3-1-1 berfungsi sebagai pengaman grid Petrokimia (500 MVA<sub>sc</sub>). *Single line diagram* tipikal 2B dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini :



**Gambar 4.8** *Single Line Diagram* Tipikal 2B

Berikut ini adalah perhitungan *high set*, *low set*, *time dial*, dan *time delay* untuk *setting* pada ACB dan juga rele – rele pada tipikal 2B :

**a. ACB33A-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	= Siemens
<i>Model</i>	= 3WL13H 50
<i>Trip Device</i>	= Siemens ETU76B ( $I^2t$ )
FLA sek trafo TR9-3-1-1	= 4330 A
<i>Rating plug</i>	= 5000

1. Long Time Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA sek TR9-3-1-1} &< I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA sek TR9-3-1-1} \\
 1,05 \times 4330 &< I_{\text{set}} < 1,4 \times 4330 \\
 4546,5 &< I_{\text{set}} < 6062 \\
 \frac{4546,5}{5000} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{6062}{5000} \text{ In} \\
 0,9093 \text{ In} &< \text{tap} < 1,2124 \text{ In} \\
 (\text{LT pickup range } 0,4\text{In}; 0,45\text{In}; 0,5\text{In}; 0,55\text{In}; 0,6\text{In}; 0,65\text{In}; 0,7\text{In}; \\
 0,8\text{In}; 0,9\text{In}; 1\text{In}) \\
 \text{Dipilih range} &= 0,9\text{In} \\
 \text{LT pickup} &= 0,9 \times 5000 \\
 &= 4500 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2. LT band

$$\begin{aligned}
 \text{Range} &= (2-30) \text{ Maximum} \\
 &\text{@ 6 Multiples} \\
 \text{Step : } &1 \\
 \text{Dipilih LT band} &= 2
 \end{aligned}$$

3. Short Time Pickup

$$\begin{aligned}
 \text{Isc kontribusi min bus 33A-4-1-1} &= 38760 \text{ A} \\
 1,6 \times \text{FLA sek TR9-3-1-1} &< I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min bus 33A-4-1-1} \\
 1,6 \times 4330 &< I_{\text{set}} < 0,8 \times 38760 \\
 6928 &< I_{\text{set}} < 31008 \\
 \frac{6928}{5000} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{31008}{5000} \text{ In} \\
 1,3856 \text{ In} &< \text{tap} < 6,2 \text{ In}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dipilih tap} &= 1,4 \text{ In} \\
 \text{ST pickup} &= 1,4 \times 5000 \\
 &= 7000 \text{ A}
 \end{aligned}$$

4. ST Band

Range (0,02; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4)

Dipilih ST Band = 0,4

**b. Rele36-3-1-1**

$$\begin{aligned}
 \text{Manufacture} &= \text{Siemens} \\
 \text{Model} &= 7SJ62 \\
 \text{FLA primer trafo TR9-3-1-1} &= 274,9 \text{ A} \\
 \text{Curve Type} &= \text{IEC} - \text{Extremely Inverse} \\
 \text{CT ratio} &= 400 / 1
 \end{aligned}$$

1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA pmr TR9-3-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA pmr TR9-3-1-1}$$

$$1,05 \times 274,9 < \text{Iset} < 1,4 \times 274,9$$

$$288,645 < \text{Iset} < 384,86$$

$$\frac{288,645}{400/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{384,86}{400/1} \text{ In}$$

$$0,722 \text{ In} < \text{tap} < 0,96 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,93 In

$$\begin{aligned}
 \text{Iset} &= 0,93 \times \frac{400}{1} \\
 &= 372 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2. Time Dial

$$\text{Waktu operasi (t)} = 0,1 \text{ detik}$$

$$\text{Isc kontribusi max 4cycle bus 21A-3-1-1} = 12290 \text{ A}$$

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,1 = \frac{80}{\left(\frac{12290}{372}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 109,05$$

$$tp = 1,36$$

dipilih time dial = 0,51

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi max bus 33A-4-1-1 = 44750 A

Isc kontribusi min bus 21A-3-1-1 = 10550 A

Isc max bus 33A-4-1-1  $\times \left( \frac{kV_{sek}}{kV_{prm}} \right) < I_{>>} < 0,8 \times$  Isc min bus 21A-3-1-1

$$45750 \left( \frac{0,4}{6,3} \right) < I_{>>} < 0,8 \times 10550$$

$$2904,76 < I_{>>} < 8440$$

$$\frac{2904,76}{400/1} I_n < \text{tap} < \frac{8432}{400/1} I_n$$

$$7,26 I_n < \text{tap} < 21,08 I_n$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 7,74 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 7,74 \times \frac{400}{1} \\ &= 3096 \text{ A} \end{aligned}$$

4. Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

c. **Rele 17-3-1-1**

Manufacture = Siemens

Model = 7SJ62

FLA sekunder Trafo TR1-3-1-1 = 1146 A

Curve Type = IEC – *Extremely Inverse*

CT ratio = 1600 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

1,05 x FLA sek TR1-3-1-1 < Iset < 1,4 x FLA sek TR1-3-1-1

$$1,05 \times 1146 < \text{Iset} < 1,4 \times 1146$$

$$1203,3 < \text{Iset} < 1604,4$$

$$\frac{1203,3}{1600/1} I_n < \text{tap} < \frac{1604,4}{1600/1} I_n$$

$$0,752 I_n < \text{tap} < 1,00 I_n$$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,8 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,8 \times \frac{1600}{1} \\ &= 1280 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,3 detik

Isc kontribusi max 4cycle bus 21A-3-1-1 = 12290 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,3 = \frac{80}{\left(\frac{12290}{1280}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 27,357$$

$$tp = 0,34$$

dipilih *time dial* = 1,55

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 21A-3-1-1 = 10550 A

$$1,6 \times \text{FLA sek TR1-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21A-3-1-1}$$

$$1,6 \times 1146 < I_{>>} < 0,8 \times 10550$$

$$1833,6 < I_{>>} < 8440$$

$$\frac{1833,6}{1600/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{8440}{1600/1} \text{ In}$$

$$1,146 \text{ In} < \text{tap} < 5,275 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,14 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 2,14 \times \frac{1600}{1} \\ &= 3424 \text{ A} \end{aligned}$$

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

**d. Rele 14-3-1-1**

*Manufacture* = Siemens

*Model* = 7SJ62

*FLA primer Trafo TR1-3-1-1* = 360,8 A

*Curve Type* = IEC – *Extremely Inverse*

*CT ratio* = 500 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA pmr TR1-3-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA pmr TR1-3-1-1}$$

$$1,05 \times 360,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 360,8$$

$$378,84 < \text{Iset} < 505,12$$

$$\frac{378,84}{500/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{505,12}{500/1} \text{ In}$$

$$0,76 \text{ In} < \text{tap} < 1,01 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,85 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,85 \times \frac{500}{1} \\ &= 425 \text{ A} \end{aligned}$$

## 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,3 detik

Isc kontribusi max 4cycle bus 125-3-1-1 = 15300 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,3 = \frac{80}{\left(\frac{15300}{425}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 388,5$$

$$tp = 4,85$$

dipilih time dial = 1,58

## 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 125-3-1-1 = 12600 A

$$1,6 \times \text{FLA pmr TR1-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 125-3-1-1}$$

$$1,6 \times 360,8 < I_{>>} < 0,8 \times 12600$$

$$577,28 < I_{>>} < 10080$$

$$\frac{577,28}{500/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{10080}{500/1} \text{ In}$$

$$1,154 \text{ In} < \text{tap} < 20,16 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 3,2 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 3,2 \times \frac{500}{1} \\ &= 1600 \text{ A} \end{aligned}$$

## 4. Time Delay

Dipilih time delay = 0,3 s

## e. **Rele 12-3-1-1**

Manufacture = Siemens

Model = 7SJ62

$$\begin{aligned}
 \text{FLA primer TR1-3-1-1} + \text{TR2-3-1-1} &= 360,8 \text{ A} + 360,8 \text{ A} \\
 &= 721,6 \text{ A} \\
 \text{Curve Type} &= \text{IEC} - \text{Extremely Inverse} \\
 \text{CT ratio} &= 800 / 1
 \end{aligned}$$

1. Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA primer 2 trafo} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA primer 2 trafo} \\
 1,05 \times 721,6 &< \text{Iset} < 1,4 \times 721,6 \\
 757,68 &< \text{Iset} < 1010,24 \\
 \frac{757,68}{800/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{1010,24}{800/1} \text{ In} \\
 0,947 \text{ In} &< \text{tap} < 1,26 \text{ In} \\
 (\text{pickup range } 0,1\text{In} - 4\text{In} \text{ sekunder CT} - 1\text{A}; \text{step } 0,01\text{In}) \\
 \text{Dipilih tap} &= 0,95 \text{ In} \\
 \text{Iset} &= 0,95 \times \frac{800}{1} \\
 &= 760 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2. Time Dial

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu operasi (t)} &= 0,5 \text{ detik} \\
 \text{Isc kontribusi max 4cycle bus 11A-3-1-1} &= 11980 \text{ A} \\
 t &= \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp \\
 0,5 &= \frac{80}{\left(\frac{11980}{760}\right)^2 - 1} \times tp \\
 80tp &= 123,74 \\
 tp &= 1,55 \\
 \text{dipilih time dial} &= 1,55
 \end{aligned}$$

3. Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 \text{Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1} &= 10420 \text{ A} \\
 1,6 \times \text{FLA primer 2 trafo} &< I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 11A-3-1-1} \\
 1,6 \times 721,6 &< I_{>>} < 0,8 \times 10420 \\
 1154,36 &< I_{>>} < 8336 \\
 \frac{1154,36}{800/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{8336}{800/1} \text{ In} \\
 1,44 \text{ In} &< \text{tap} < 10,42 \text{ In} \\
 (\text{pickup range } 0,1\text{In} - 35\text{In} \text{ sekunder CT} - 1\text{A}; \text{step } 0,01\text{In}) \\
 \text{Dipilih tap} &= 2,1 \text{ In}
 \end{aligned}$$

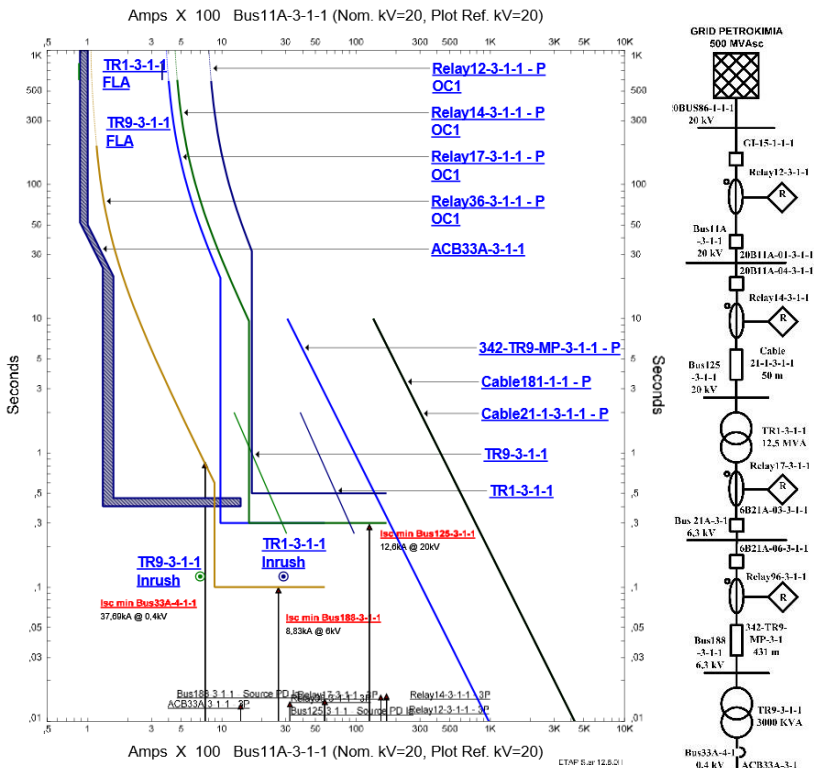


$$\begin{aligned}
 I_{set} &= 2,1 \times \frac{800}{1} \\
 &= 1680 \text{ A}
 \end{aligned}$$

#### 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

Selanjutnya, setelah rele *disetting* sesuai dengan perhitungan di atas, kemudian rele – rele tersebut diplot *time current curve*-nya menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Sehingga menghasilkan kurva seperti yang terlihat pada Gambar 4.9 di bawah ini :



**Gambar 4.9 Time Current Curve Tipikal 2B**

Hasil plot *time current curve* pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa ACB dan rele – rele pada tipikal ini *settingan*-nya sudah benar dan aman. Hal tersebut diketahui bahwa apabila terjadi arus hubung singkat minimum 30 *cycle line to line* pada bus 33A-4-1-1, ACB33A-3-1-1 akan bekerja pertama kali sebagai pengaman utamanya, dan kemudian rele 36-3-1-1 sebagai *backupnya* dengan waktu delay 0,2 s.

Apabila terjadi gangguan pada bus 188-3-1-1, maka rele yang bekerja pertama adalah rele 36-3-1-1 pada waktu 100 ms dengan *backup* rele 17-3-1-1 pada waktu 300 ms, dan apabila terjadi gangguan pada bus di atas trafo TR 1-3-1-1 (bus 125-3-1-1), maka rele 14-3-1-1 akan bekerja sebagai pengaman utama, dan rele 12-3-1-1 sebagai *backupnya*.

Untuk tipikal 2B ini, terdapat beberapa pengecualian. Untuk rele 14-3-1-1 (pengaman di sisi primer trafo) memenuhi syarat untuk reset 0,1 s (*time delaynya*). Namun, dikarenakan pada tegangan yang sama 20 kV nilai arus *short circuit* di bus atas trafo TR-1-3-1-1 (bus 11A-3-1-1) lebih kecil daripada bus trafo TR-1-3-1-1 sisi primer (bus 125-3-1-1), maka tidak mungkin dilakukan reset. Apabila direset, maka kurva TCC akan menjadi saling bersinggungan. Yang mana hal tersebut adalah perkara yang harus dihindari dalam melakukan *setting* rele, agar rele dapat bekerja dengan baik. Sehingga, untuk rele pengaman trafo, yaitu rele 14-3-1-1 dan rele 17-3-1-1 memiliki *settingan* rele yang sama.

Berikut ini adalah *sequence viewer* apabila terjadi gangguan 30 *cycle line to line* pada bus 33A-4-1-1, terlihat pada Tabel 4.6 di bawah ini :

**Tabel 4.6    *Sequence Viewer* Gangguan pada Bus 33A-4-1-1**

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus33A-4-1-1</i>						
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	<i>Condition</i>
1.	460	ACB33A-3-1-1	38.762	400	460	<i>Phase</i>
2.	676	Relay36-3-1-1	2,915	676		<i>Phase-OC1-51</i>
3.	726	6B21A-06-3-1-1		70,0		<i>Tripped by Relay36-3-1-1 Phase-OC1-51</i>
4.	29629	Relay17-3-1-1	2,915	29629		<i>Phase-OC1-51</i>

**Tabel 4.6 Sequence Viewer Gangguan pada Bus 33A-4-1-1 (lanjutan)**

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus33A-4-1-1</i>						
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	<i>Condition</i>
5.	29699	6B21A-03-3-1-1		70,0		<i>Tripped by Relay17-3-1-1 Phase-OC1-51</i>
6.	66784	Relay14-3-1-1	0,723	66784		<i>Phase-OC1-51</i>
7.	66854	20B11A-04-3-1-1		70,0		<i>Tripped by Relay14-3-1-1 Phase-OC1-51</i>

Dari Tabel 4.6, *sequence viewer* gangguan 30 cycle line to line pada bus 33A-4-1-1 terlihat bahwa ACB33A-3-1-1 adalah pengaman yang pertama bekerja dengan waktu 460 ms. Pemilihan *time delay* sebesar 0,4 s dikarenakan beban di bawah ACB sangatlah banyak, untuk mengantisipasi apabila terjadi gangguan di beban – beban bawah, maka ACB *disetting time delay*nya 0,4 s. Dan sebagai *backup*nya apabila terjadi gangguan pada bus 33A-4-1-1 adalah rele 36-3-1-1 dengan waktu 676 ms (*time delay* 676 ms - 460 ms = 216 ms), masih dalam *range time delay* yang diperbolehkan menurut standart IEEE-242 yaitu antara 0,2 – 0,4 s.

Untuk rele *backup* utamanya yaitu rele 36-3-1-1 harus mengenai kurva *invers*nya untuk menanggulangi gangguan *overload*. Sedangkan untuk rele 17-3-1-1 dan rele 14-3-1-1 waktunya sangat lama hal ini tidak menjadi masalah dikarenakan bukan rele *backup* utamanya. Selain itu *settingan* kedua rele tersebut sudah sesuai yaitu rele 51 (*invers*)nya yang bekerja.

Pada Tabel 4.7 di bawah ini terlihat *sequence viewer* apabila terjadi gangguan 30 cycle line to line pada bus 188-3-1-1 :

**Tabel 4.7 Sequence Viewer Gangguan pada Bus 188-3-1-1**

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus188-3-1-1</i>					
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
1.	100	Relay36-3-1-1	8,827	100	<i>Phase-OC1-50</i>

**Tabel 4.7** *Sequence Viewer Gangguan pada Bus 188-3-1-1 (lanjutan)*

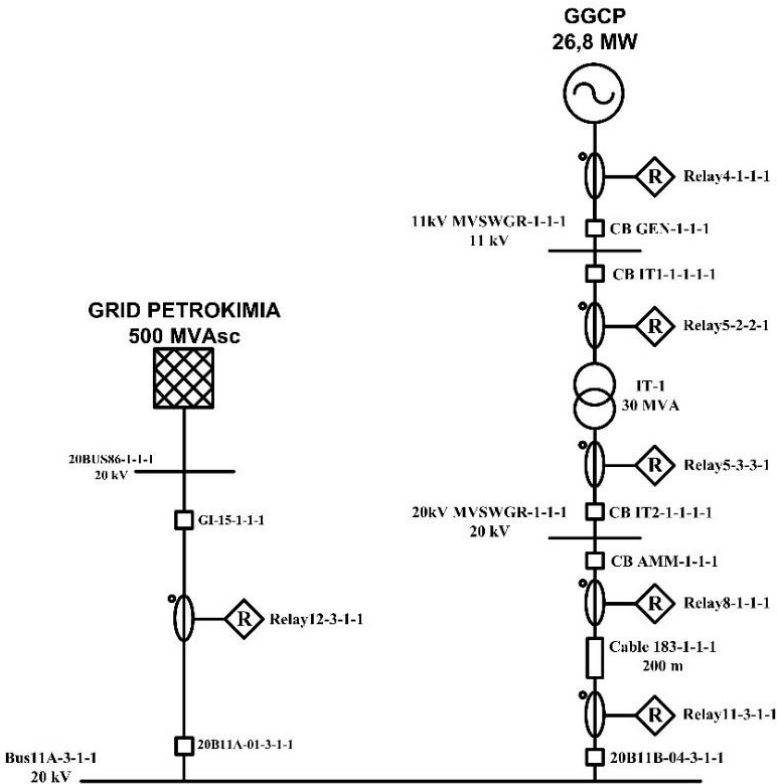
<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus188-3-1-1</i>					
No.	<i>Time (ms)</i>	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
2.	170	6B21A-06-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay36-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
3.	300	Relay14-3-1-1	2,919	300	<i>Phase-OC1-50</i>
4.	300	Relay17-3-1-1	8,827	300	<i>Phase-OC1-50</i>
5.	370	6B21A-03-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay17-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
6.	370	20B11A-04-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay14-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
7.	500	Relay12-3-1-1	2,391	500	<i>Phase-OC1-50</i>
8.	570	20B11A-01-3-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay12-3-1-1 Phase-OC1-50</i>
9.	570	GI-15-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay12-3-1-1 Phase-OC1-50</i>

Dari Tabel 4.7 di atas, dapat diketahui bahwa apabila terjadi gangguan hubung singkat minimum 30 *cycle line to line* pada bus 188-3-1-1, maka rele 36-3-1-1 akan bekerja instan dengan waktu 100 ms, dan untuk rele *backupnya* adalah rele 17-3-1-1 dengan waktu 300 ms. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa rele 17-3-1-1 dan rele 14-3-1-1 memiliki *settingan* yang sama. Oleh karena itu pada *sequence viewer* yang ditampilkan terlebih dahulu adalah rele dengan urutan alfabet yang lebih awal.

#### **4.6 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Tipikal 3**

Pada tipikal ketiga ini, akan dijabarkan mengenai prioritas kedua buah *supply*. *Supply* mana yang akan *dioff* kan terlebih dahulu apabila terjadi gangguan di bus penghubung kedua sumber (bus 11A-3-1-1).

Berikut ini adalah gambar *single line diagram* tipikal ke 3, terlihat pada Gambar 4.10 di bawah ini :



**Gambar 4.10 Single Line Diagram Tipikal 3**

Berikut ini adalah perhitungan *high set*, *low set*, *time dial*, dan *time delay* untuk *setting* rele pada tipikal 3 :

**a. Rele 12-3-1-1**

Manufacture	= Siemens
Model	= 7SJ62
FLA primer TR1-3-1-1 + TR2-3-1-1	= 360,8 A + 360,8 A
	= 721,6 A

Curve Type = IEC – *Extremely Inverse*  
 CT ratio = 800 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA primer 2 trafo} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA primer 2 trafo} \\
 1,05 \times 721,6 &< \text{Iset} < 1,4 \times 721,6 \\
 757,68 &< \text{Iset} < 1010,24 \\
 \frac{757,68}{800/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{1010,24}{800/1} \text{ In} \\
 0,947 \text{ In} &< \text{tap} < 1,26 \text{ In} \\
 (\text{pickup range } 0,1\text{In} - 4\text{In} \text{ sekunder CT} - 1\text{A}; \text{step } 0,01\text{In}) \\
 \text{Dipilih tap} &= 0,95 \text{ In} \\
 \text{Iset} &= 0,95 \times \frac{800}{1} \\
 &= 760 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2. Time Dial

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu operasi (t)} &= 0,5 \text{ detik} \\
 \text{Isc kontribusi max } 4\text{cycle bus 11A-3-1-1} &= 11980 \text{ A} \\
 t &= \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp \\
 0,5 &= \frac{80}{\left(\frac{11980}{760}\right)^2 - 1} \times tp \\
 80tp &= 123,74 \\
 tp &= 1,55 \\
 \text{dipilih time dial} &= 1,55
 \end{aligned}$$

3. Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 \text{Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1} &= 10420 \text{ A} \\
 1,6 \times \text{FLA primer 2 trafo} &< I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 11A-3-1-1} \\
 1,6 \times 721,6 &< I_{>>} < 0,8 \times 10420 \\
 1154,36 &< I_{>>} < 8336 \\
 \frac{1154,36}{800/1} \text{ In} &< \text{tap} < \frac{8336}{800/1} \text{ In} \\
 1,44 \text{ In} &< \text{tap} < 10,42 \text{ In} \\
 (\text{pickup range } 0,1\text{In} - 35\text{In} \text{ sekunder CT} - 1\text{A}; \text{step } 0,01\text{In}) \\
 \text{Dipilih tap} &= 2,1 \text{ In} \\
 \text{Iset} &= 2,1 \times \frac{800}{1} \\
 &= 1680 \text{ A}
 \end{aligned}$$

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

**b. Rele 11-3-1-1**

*Manufacture* = Siemens  
*Model* = 7SJ62  
*FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1* = 866 A  
*Curve Type* = IEC – *Extremely Inverse*  
*CT ratio* = 1000 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1}$$

$$1,05 \times 866 < \text{Iset} < 1,4 \times 866$$

$$909,3 < \text{Iset} < 1212,4$$

$$\frac{909,3}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} \text{ In}$$

$$0,9093 \text{ In} < \text{tap} < 1,2124 \text{ In}$$

(*pickup range* 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,92 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,92 \times \frac{1000}{1} \\ &= 920 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 11A-3-1-1 = 3160 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{3160}{920}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 7,56$$

$$tp = 0,094$$

dipilih *time dial* = 3,75

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 2450 A

$$1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21B-3-1-1}$$

$$1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2450$$

$$1385,6 < I_{>>} < 1960$$

$$\frac{1385,6}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1960}{1000/1} \text{ In}$$

$$1,3856 \text{ In} < \text{tap} < 1,96 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,8 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1,8 \times \frac{1000}{1} \\ &= 1800 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4. Time Delay

$$\text{Dipilih time delay} = 0,7 \text{ s}$$

### c. **Rele 8-3-1-1**

Manufacture = Schneider Electric

Model = Sepam Series 10

FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1 = 866 A

Curve Type = IEC *Extremely Inverse Time*

CT ratio = 1000 / 1

#### 1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1}$$

$$1,05 \times 866 < \text{Iset} < 1,4 \times 866$$

$$909,3 < \text{Iset} < 1212,4$$

$$\frac{909,3}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} \text{ In}$$

$$0,9093 \text{ In} < \text{tap} < 1,2124 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,92 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,92 \times \frac{1000}{1} \\ &= 920 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max 4cycle bus 11A-3-1-1 = 3160 A

$$t = \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} \times TMS$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{3160}{920}\right)^2 - 1} \times TMS$$

$$80TMS = 7,56$$



TMS = 0,094  
dipilih *time dial* = 3,75

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 2450 A  
 $1,6 \times \text{FLA sek TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 21B-3-1-1}$   
 $1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2450$   
 $1385,6 < I_{>>} < 1960$   
 $\frac{1385,6}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1960}{1000/1} \text{ In}$   
 $1,3856 \text{ In} < \text{tap} < 1,96 \text{ In}$   
(*pickup range* 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)  
Dipilih tap = 1,8 In  
Iset =  $1,8 \times \frac{1000}{1}$   
= 1800 A

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,7 s

**d. Rele 5-3-3-1**

*Manufacture* = Siemens  
*Model* = 7SJ62  
FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1 = 866 A  
*Curve Type* = IEC – *Extremely Inverse*  
*CT ratio* = 1000 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek IT-1-1-1-1}$   
 $1,05 \times 866 < \text{Iset} < 1,4 \times 866$   
 $909,3 < \text{Iset} < 1212,4$   
 $\frac{909,3}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1212,4}{1000/1} \text{ In}$   
 $0,9093 \text{ In} < \text{tap} < 1,2124 \text{ In}$   
(*pickup range* 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)  
Dipilih tap = 0,92 In  
Iset =  $0,92 \times \frac{1000}{1}$   
= 920 A

2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 20kV MVSWGR-1-1-1 = 3170 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{3170}{920}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 7,61$$

$$tp = 0,095$$

dipilih *time dial* = 3,75

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11A-3-1-1 = 2460 A

1,6 x FLA sek TR2-3-1-1 < I<sub>>></sub> < 0,8 x Isc min 20kV MVSWGR-1-1-1

$$1,6 \times 866 < I_{>>} < 0,8 \times 2460$$

$$1385,6 < I_{>>} < 1968$$

$$\frac{1385,6}{1000/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{1968}{1000/1} \text{ In}$$

$$1,3856 \text{ In} < \text{tap} < 1,968 \text{ In}$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,8 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1,8 \times \frac{1000}{1} \\ &= 1800 \text{ A} \end{aligned}$$

4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,7 s

e. **Rele 5-2-2-1**

*Manufacture* = Siemens

*Model* = 7SJ62

*FLA sekunder trafo IT-1-1-1-1* = 1575 A

*Curve Type* = IEC – *Extremely Inverse*

*CT ratio* = 1800 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA pmr IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA pmr IT-1-1-1-1}$$

$$1,05 \times 1575 < \text{Iset} < 1,4 \times 1575$$

$$1653,75 < \text{Iset} < 2205$$

$$\frac{1653,75}{1800/1} I_n < \text{tap} < \frac{2205}{1800/1} I_n$$

$$0,92 I_n < \text{tap} < 1,225 I_n$$

(pickup range 0,1In – 4In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,14 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1,14 \times \frac{1800}{1} \\ &= 2052 \text{ A} \end{aligned}$$

## 2. Time Dial

Waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 4-2-1-1-1 = 10360 A

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$0,7 = \frac{80}{\left(\frac{10360}{2052}\right)^2 - 1} \times tp$$

$$80tp = 17,143$$

$$tp = 0,214$$

dipilih time dial = 4,13

## 3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 4-2-1-1-1 = 7450 A

$$1,6 \times \text{FLA pmr TR2-3-1-1} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min bus 4-2-1-1-1}$$

$$1,6 \times 1575 < I_{>>} < 0,8 \times 7450$$

$$2520 < I_{>>} < 5960$$

$$\frac{2520}{1800/1} I_n < \text{tap} < \frac{5960}{1800/1} I_n$$

$$1,4 I_n < \text{tap} < 3,31 I_n$$

(pickup range 0,1In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,4 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 2,4 \times \frac{1800}{1} \\ &= 4320 \text{ A} \end{aligned}$$

## 4. Time Delay

Dipilih time delay = 0,7 s

## f. **Rele 4-1-1-1**

Manufacture = GE Multilin

Model = 489

FLA generator GGCP	= 1655 A
Curve Type	= IEC – C
CT ratio	= 1800 / 1

1. Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA generator GGCP} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA generator GGCP}$$

$$1,05 \times 1655 < \text{Iset} < 1,4 \times 1655$$

$$1737,75 < \text{Iset} < 2317$$

$$\frac{1737,75}{1800/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{2317}{1800/1} \text{ In}$$

$$0,965 \text{ In} < \text{tap} < 1,287 \text{ In}$$

(pickup range 0,15 – 20 xCT sekunder; step 0,01In)

Dipilih tap = 1,16 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1,16 \times \frac{1800}{1} \\ &= 2088 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Time Dial

Waktu operasi (T) = 0,9 detik

Isc max kontribusi 4cycle bus 11kV MVSWGR 1-1-1 = 10160 A

$$T = M \times \frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^E - 1}$$

$$0,9 = M \times \frac{80}{\left(\frac{10160}{2088}\right)^2 - 1}$$

$$80M = 20,41$$

$$M = 0,255$$

dipilih time dial = 5,58

3. Instantaneous Pickup

Isc kontribusi min bus 11kV MVSWGR 1-1-1 = 7450 A

1,6 x FLA generator < I<sub>>></sub> < 0,8 x Isc min 11kV MVSWGR 1-1-1

$$1,6 \times 1655 < \text{I}_{>>} < 0,8 \times 7450$$

$$2648 < \text{I}_{>>} < 5960$$

$$\frac{2648}{1800/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{5960}{1800/1} \text{ In}$$

$$1,47 \text{ In} < \text{tap} < 3,31 \text{ In}$$

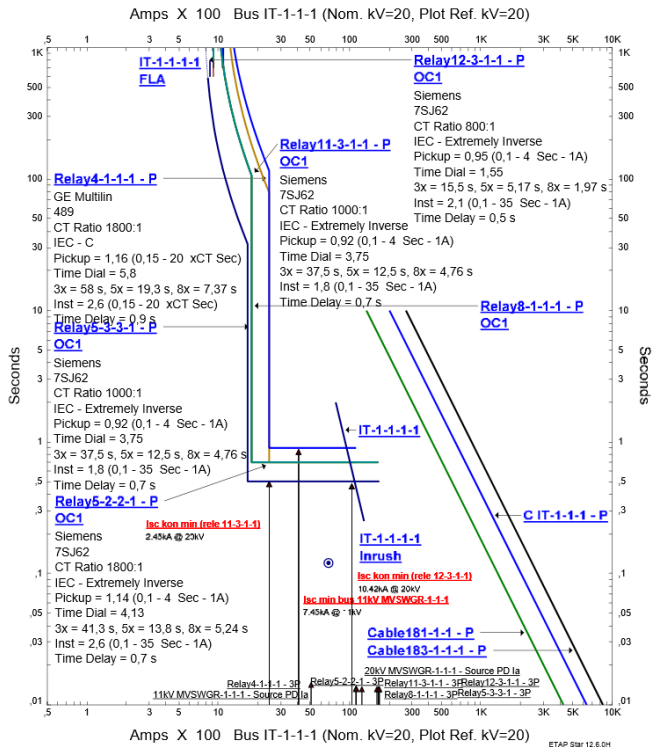
(pickup range 0,15 – 20 xCT sekunder; step 0,01In)

Dipilih tap = 2,4 In  
 Iset =  $2,4 \times \frac{1800}{1}$   
 = 4320 A

#### 4. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,9 s

Selanjutnya, setelah rele *disetting* sesuai dengan perhitungan di atas, kemudian rele – rele tersebut diplot *time current curve*-nya menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Sehingga menghasilkan kurva seperti yang terlihat pada Gambar 4.11 di bawah ini :



**Gambar 4.11 Time Current Curve Tipikal 3**

Pada Gambar 4.11 plot TCC tipikal ke 3 ini, rele 12-3-1-1 dibuat *time delay*nya lebih cepat dari pada rele 11-3-1-1. Rele 12-3-1-1 *time delay*nya sebesar 0,5 s dan untuk rele 11-3-1-1 *time delay*nya adalah 0,7 s. Hal ini dikarenakan apabila terjadi gangguan di bus 11A-3-1-1, maka yang lebih diprioritaskan adalah *supply* generator GGCP. Karena dengan memutuskan grid Petrokimia terlebih dahulu, hanya akan mengakibatkan sinkronisasi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik dengan sistem kelistrikan Petro Raya (*existing*) menjadi terputus. Sedangkan apabila generator GGCP diputus dahulu, maka akan mengakibatkan *supply* utama Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik menjadi mati, dan sistem kelistrikan menjadi *black out*. Selain itu, apabila GGCP lepas dari sistem, maka akan mengakibatkan *steam* generator menjadi terganggu pula. Dan untuk mengaktifkannya kembali memerlukan waktu yang lama. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.8 *sequence viewer* apabila terjadi gangguan minimum 30 *cycle line to line* pada bus 11A-3-1-1 di bawah ini :

**Tabel 4.8 Sequence Viewer Gangguan pada Bus 11A-3-1-1 (Tipikal 3)**

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus164-3-1-1</i>					
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
1.	500	Relay12-3-1-1	10,421	500	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	570	20B11A-01-3-1-1		70,0	<i>Tripped by</i> Relay12-3-1-1 <i>Phase-OC1-50</i>
3.	570	GI-15-1-1-1		70,0	<i>Tripped by</i> Relay12-3-1-1 <i>Phase-OC1-50</i>
1.	700	Relay5-2-2-1	5.233	700	<i>Phase-OC1-50</i>
2.	700	Relay5-3-3-1	2.449	700	<i>Phase-OC1-50</i>
3.	700	Relay8-1-1-1	2.449	700	<i>Phase-OC1-50</i>
4.	700	Relay11-3-1-1	2.449	700	<i>Phase-OC1-50</i>
5.	770	20B11B-04-3-1-1		70,0	<i>Tripped by</i> Relay11-3-1-1 <i>Phase-OC1-50</i>
6.	770	CB AMM-1-1-1		70,0	<i>Tripped by</i> Relay8-1-1-1 <i>Phase-OC1-50</i>

**Tabel 4.8** *Sequence Viewer Gangguan pada Bus 11A-3-1-1 (Tipikal 3) (lanjutan)*

<i>Line to Line (Symmetrical) fault on bus: Bus164-3-1-1</i>					
No.	<i>Time</i> (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	<i>Condition</i>
7.	770	CB IT1-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-2-2-1 Phase-OC1-50</i>
8.	770	CB IT2-1-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay5-3-3-1 Phase-OC1-50</i>
9.	900	Relay4-1-1-1	5,233	900	<i>Phase-OC1-50</i>
10.	970	CB GEN-1-1-1		70,0	<i>Tripped by Relay4-1-1-1 Phase-OC1-50</i>

#### **4.7 Sistem Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Gangguan Fasa ke Tanah**

Seperti yang diketahui, bahwa rele *groundfault* berfungsi sebagai pengamanan terhadap gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Sangat erat hubungannya, melakukan *setting* rele *overcurrent* gangguan fasa ke tanah, dengan nilai NGR yang terpasang pada trafo di sebuah sistem kelistrikan. Hal ini dikarenakan, nilai arus hubung singkat fasa ke tanah terbesar yang mungkin saja terjadi di suatu sistem kelistrikan, adalah sama dengan nilai NGR yang terpasang pada trafo di sistem kelistrikan tersebut.

*Setting* proteksi rele *overcurrent* gangguan fasa ke tanah menggunakan tipe kurva *definite time* atau *instantaneous time*. Yang perlu diperhatikan lainnya adalah tentang penentuan *time delay* dari rele tersebut. Karena seperti yang diketahui, bahwa *time delay* antar rele yang diperbolehkan oleh IEEE 242 adalah 0,2 – 0,4 s. Dan untuk *setting groundfault*, digunakan *time delay* 0,2 s.

Pada Tabel 4.9 di bawah ini dijelaskan mengenai sistem pentanahan peralatan pada sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II (dengan 4 level tegangan, yaitu 20 kV, 11 kV, 6,3 kV dan 0,4 kV)

**Tabel 4.9 Sistem Pentanahan Peralatan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik**

No.	ID Peralatan	Rating Tegangan	Hubungan Belitan	Pentanahan
1.	GGCP-1-1-1	11 kV	Bintang	NGR 200A
2.	IT-1-1-1-1	11 kV / 20 kV	Delta / Bintang	NGR 200A
3.	AUT 2	11 kV / 6 kV	Delta / Bintang	NGR 200A
4.	TR2-3-1-1	11 kV / 6,3 kV	Delta / Bintang	NGR 200A
5.	TR1-3-1-1	11 kV / 6,3 kV	Delta / Bintang	NGR 200A
6.	LV1 TRAFO	6 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid
7.	LV2 TRAFO	6 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid
8.	TR4-3-1-1	6,3 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid
9.	TR5-3-1-1	6,3 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid
10.	TR7-3-1-1	6,3 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid
11.	TR9-3-1-1	6,3 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid
12.	TR10-3-1-1	6,3 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid
13.	TR8-3-1-1	6,3 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid
14.	TR6-3-1-1	6,3 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid
15.	TR11-3-1-1	6,3 kV / 0,4 kV	Delta / Bintang	Solid

#### **4.8 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1**

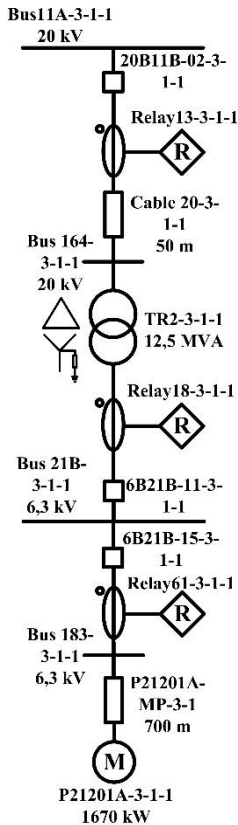
Pada tipikal 1 ini terdapat 8 rele yang harus dikoordinasikan. Dikarenakan banyaknya rele yang perlu *disetting*, maka pada tipikal 1 ini dipecah menjadi tipikal 1A dan juga 1B. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam pembacaan *time current curvenya*.

##### **4.8.1 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1A**

Pada tipikal gangguan fasa ke tanah 1A, terdapat 3 buah rele. Yaitu rele 61-3-1-1 yang berfungsi sebagai pengaman motor P21201A-3-1, kemudian rele 18-3-1-1 dan rele 13-3-1-1 yang berfungsi sebagai



pengaman trafo TR2-3-1-1 dengan rating 12,5 MVA. Berikut ini adalah *single line diagram* tipikal 1A yang dapat dilihat pada gambar 4.12 :



**Gambar 4.12 Single Line Diagram Tipikal 1A (Gangguan L-G)**

Berikut ini adalah perhitungan *high set* dan *time delay* untuk *setting* pada rele – rele di tipikal 1A gangguan fasa – tanah.

**a. Rele 61-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	= Siemens
<i>Model</i>	= 7SJ62
<i>NGR trafo TR2-3-1-1</i>	= 200 A
<i>CT ratio</i>	= 75 / 1

1. Instantaneous Pickup

$$10\% \times \text{NGR trafo TR2-3-1-1} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR trafo TR2-3-1-1}$$

$$10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{75/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{100}{75/1} \text{ In}$$

$$0,267 \text{ In} < \text{tap} < 1,33 \text{ In}$$

(pickup range 0,05In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,5 In

$$I_{set} = 0,5 \times \frac{75}{1}$$

$$= 37,5 \text{ A}$$

2. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

**b. Rele 18-3-1-1**

*Manufacture* = Siemens

*Model* = 7SJ62

*NGR trafo TR2-3-1-1* = 200 A

*CT ratio* = 75 / 1

1. Instantaneous Pickup

$$10\% \times \text{NGR trafo TR2-3-1-1} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR trafo TR2-3-1-1}$$

$$10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{75/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{100}{75/1} \text{ In}$$

$$0,267 \text{ In} < \text{tap} < 1,33 \text{ In}$$

(pickup range 0,05In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,5 In

$$I_{set} = 0,5 \times \frac{75}{1}$$

$$= 37,5 \text{ A}$$

2. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

**c. Rele 13-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	= Siemens
<i>Model</i>	= 7SJ62
<i>NGR trafo IT-1-1-1-1</i>	= 200 A
<i>CT ratio</i>	= 75 / 1

1. *Instantaneous Pickup*

$$10\% \times \text{NGR trafo IT-1-1-1-1} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR trafo IT-1-1-1-1}$$

$$10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{75/1} I_n < \text{tap} < \frac{100}{75/1} I_n$$

$$0,267 I_n < \text{tap} < 1,33 I_n$$

(*pickup range*  $0,05I_n - 35I_n$  sekunder CT – 1A; step 0,01In)

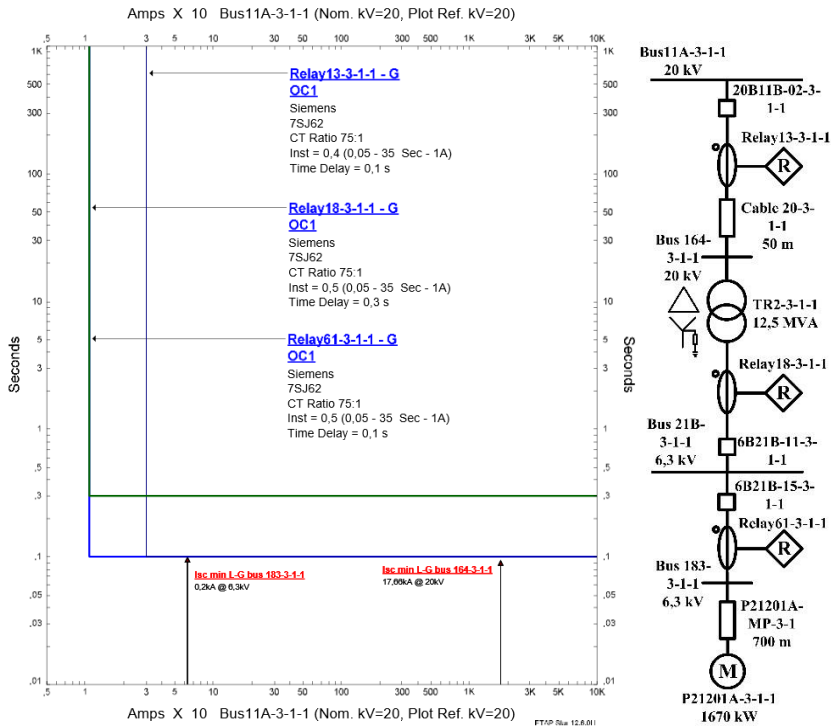
Dipilih tap =  $0,4 I_n$

$$\begin{aligned} I_{set} &= 0,4 \times \frac{75}{1} \\ &= 30 \text{ A} \end{aligned}$$

2. *Time Delay*

Dipilih *time delay* = 0,1 s

Selanjutnya, setelah rele *disetting* sesuai dengan perhitungan di atas, kemudian rele – rele tersebut diplot *time current curve*-nya menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Sehingga menghasilkan kurva seperti yang terlihat pada Gambar 4.13 di bawah ini :



**Gambar 4.13 Time Current Curve Rele Groundfault Tipikal 1A**

Gambar di atas merupakan gambar TCC *setting* rele fasa – tanah. Dapat dilihat, bahwa apabila terjadi gangguan fasa ke tanah, sudah dapat diamankan dengan baik. Terlihat apabila terjadi gangguan fasa ke tanah pada bus 183-3-1-1 maka rele 61-3-1-1 *ground* yang akan bekerja pada waktu 100 ms. Dan rele 18-3-1-1 *ground* berfungsi sebagai *backup* nya. Apabila terjadi gangguan apada bus 164-3-1-1 maka, rele 18-3-1-1 akan bekerja sebagai pengaman utamanya dengan waktu 0,3 s.

Pada Tabel 4.10 berikut ini terlihat hasil *sequence viewer* apabila terjadi gangguan 30 cycle *line to ground* pada bus 183-3-1-1 :

**Tabel 4.10 Sequence Viewer Gangguan L-G pada Bus 183-3-1-1**

<i>Line to Ground (Symmetrical) fault on bus: Bus183-3-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
1.	100	Relay61-3-1-1	0,197	100	Ground-OC1-50
2.	170	6B21B-15-3-1-1		70,0	Tripped by Relay61-3-1-1 Ground-OC1-50
3.	300	Relay18-3-1-1	0,197	300	Ground-OC1-50
4.	370	6B21B-11-3-1-1		70,0	Tripped by Relay18-3-1-1 Ground-OC1-50

Pada gambar *sequence viewer* di atas terlihat bahwa apabila terjadi gangguan *line to ground* pada bus 183-3-1-1, maka rele utama yang akan bekerja adalah rele 61-3-1-1 dengan waktu 100 ms, dan yang bekerja adalah rele *groundnya*. Dan untuk rele *backupnya* adalah rele *ground* 18-3-1-1 dengan *time delay* 300 ms.

Berikut ini adalah *sequence viewer* apabila terjadi gangguan 30 cycle *line to ground* pada bus 164-3-1-1, terlihat pada Tabel 4.11 di bawah ini :

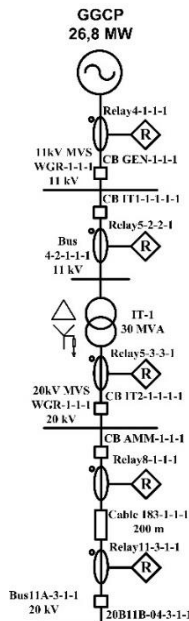
**Tabel 4.11 Sequence Viewer Gangguan L-G pada Bus 164-3-1-1**

<i>Line to Ground (Symmetrical) fault on bus: Bus164-3-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
1.	100	Relay13-3-1-1	17,66	100	Ground-OC1-50
2.	170	20B11B-02-3-1-1		70,0	Tripped by Relay13-3-1-1 Ground-OC1-50
3.	500	Relay5-3-3-1	0,036	500	Ground-OC1-50
4.	500	Relay8-1-1-1	0,036	500	Ground-OC1-50
5.	500	Relay11-3-1-1	0,036	500	Ground-OC1-50
6.	570	20B11B-04-3-1-1		70,0	Tripped by Relay11-3-1-1 Ground-OC1-50
7.	570	CB AMM-1-1-1		70,0	Tripped by Relay8-1-1-1 Ground-OC1-50
8.	570	CB IT2-1-1-1-1		70,0	Tripped by Relay5-3-3-1 Ground-OC1-50

Pada Tabel 4.11 terlihat, apabila pada bus 164-3-1-1 terjadi gangguan *line to ground* maka rele yang pertama kali akan bekerja adalah rele 13-3-1-1 dengan waktu 100 ms. Kemudian sebagai rele *backupnya* adalah rele 5-3-3-1, rele 8-1-1-1, dan rele 11-3-1-1 dengan waktu 500 ms. Pemilihan waktu 500 ms karena mempertimbangkan rele pelindung *grid* Petrokimia (lebih jelasnya untuk *setting* dapat dilihat pada sub subbab 4.8.2).

#### 4.8.2 Koordinasi Proteksi Rele *Overcurrent* Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1B

Pada tipikal 1B ini terdapat 5 rele yang disetting. Rele 11-3-1-1 dan rele 8-1-1-1 melindungi kabel 183-1-1-1, kedua rele tersebut akan disetting sama. Rele 5-3-3-1 dan rele 5-2-2-1 adalah rele yang melindungi trafo IT-1 dengan rating 30 MVA. Dan rele terakhir pada tipikal 1B adalah rele 4-1-1-1 yang berfungsi mengamankan gangguan fasa ke tanah pada generator GGCP 26,8 MW. Berikut ini adalah Gambar 4.14 merupakan *single line diagram* tipikal 1B :



**Gambar 4.14 Single Line Diagram Tipikal 1B (Gangguan L-G)**

Berikut ini adalah perhitungan *high set dan time delay* untuk setting pada rele – rele di tipikal 1B gangguan fasa – tanah.

**a. Rele 11-3-1-1**

<i>Manufacture</i>	= Siemens
Model	= 7SJ62
NGR trafo IT-1-1-1-1	= 200 A
CT ratio	= 75 / 1

1. *Instantaneous Pickup*

$$10\% \times \text{NGR trafo IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 50\% \times \text{NGR trafo IT-1-1-1-1}$$

$$10\% \times 200 < \text{Iset} < 50\% \times 200$$

$$20 < \text{Iset} < 100$$

$$\frac{20}{75/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{100}{75/1} \text{ In}$$

$$0,267 \text{ In} < \text{tap} < 1,33 \text{ In}$$

(pickup range 0,05In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,4 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,4 \times \frac{75}{1} \\ &= 30 \text{ A} \end{aligned}$$

2. *Time Delay*

Dipilih *time delay* = 0,5 s

**b. Rele 8-1-1-1**

<i>Manufacture</i>	= Schneider Electric
Model	= Sepam Series 10
NGR trafo TR2-3-1-1	= 200 A
CT ratio	= 75 / 1

1. *Instantaneous Pickup*

$$10\% \times \text{NGR trafo IT-1-1-1-1} < \text{Iset} < 50\% \times \text{NGR trafo IT-1-1-1-1}$$

$$10\% \times 200 < \text{Iset} < 50\% \times 200$$

$$20 < \text{Iset} < 100$$

$$\frac{20}{75/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{100}{75/1} \text{ In}$$

$$0,267 \text{ In} < \text{tap} < 1,33 \text{ In}$$

(pickup range 0,05In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,4 In

$$\begin{aligned} I_{set} &= 0,4 \times \frac{75}{1} \\ &= 30 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

**c. Rele 5-3-3-1**

*Manufacture* = Siemens  
*Model* = 7SJ62  
 NGR trafo IT-1-1-1-1 = 200 A  
*CT ratio* = 75 / 1

1. Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 10\% \times \text{NGR trafo IT-1-1-1-1} &< I_{set} < 50\% \times \text{NGR trafo IT-1-1-1-1} \\ 10\% \times 200 &< I_{set} < 50\% \times 200 \\ 20 &< I_{set} < 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{20}{75/1} I_n &< \text{tap} < \frac{100}{75/1} I_n \\ 0,267 I_n &< \text{tap} < 1,33 I_n \end{aligned}$$

(pickup range 0,05In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,4 In

$$\begin{aligned} I_{set} &= 0,4 \times \frac{75}{1} \\ &= 30 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

**d. Rele 5-2-2-1**

*Manufacture* = Siemens  
*Model* = 7SJ62  
 NGR GGCP-1-1-1 = 200 A  
*CT ratio* = 75 / 1

1. Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 10\% \times \text{NGR GGCP-1-1-1} &< I_{set} < 50\% \times \text{NGR GGCP-1-1-1} \\ 10\% \times 200 &< I_{set} < 50\% \times 200 \\ 20 &< I_{set} < 100 \end{aligned}$$



$$\frac{20}{75/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{100}{75/1} \text{ In}$$

$$0,267 \text{ In} < \text{tap} < 1,33 \text{ In}$$

(pickup range 0,05In – 35In sekunder CT – 1A; step 0,01In)

Dipilih tap = 1 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1 \times \frac{75}{1} \\ &= 75 \text{ A} \end{aligned}$$

## 2. Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

### e. **Rele 4-1-1-1**

Manufacture = GE Multilin

Model = 489

NGR GGCP-1-1-1 = 200 A

CT ratio = 75 / 1

## 1. Instantaneous Pickup

10% x NGR GGCP-1-1-1 < Iset < 50% x NGR GGCP-1-1-1

$$10\% \times 200 < \text{Iset} < 50\% \times 200$$

$$20 < \text{Iset} < 100$$

$$\frac{20}{75/1} \text{ In} < \text{tap} < \frac{100}{75/1} \text{ In}$$

$$0,267 \text{ In} < \text{tap} < 1,33 \text{ In}$$

(pickup range 0,05In – 20 x CTsekunder; step 0,01In)

Dipilih tap = 0,5 In

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1 \times \frac{75}{1} \\ &= 37,5 \text{ A} \end{aligned}$$

## 2. Time Dial

Trip time yang dikehendaki = 0,3 s = 300 ms

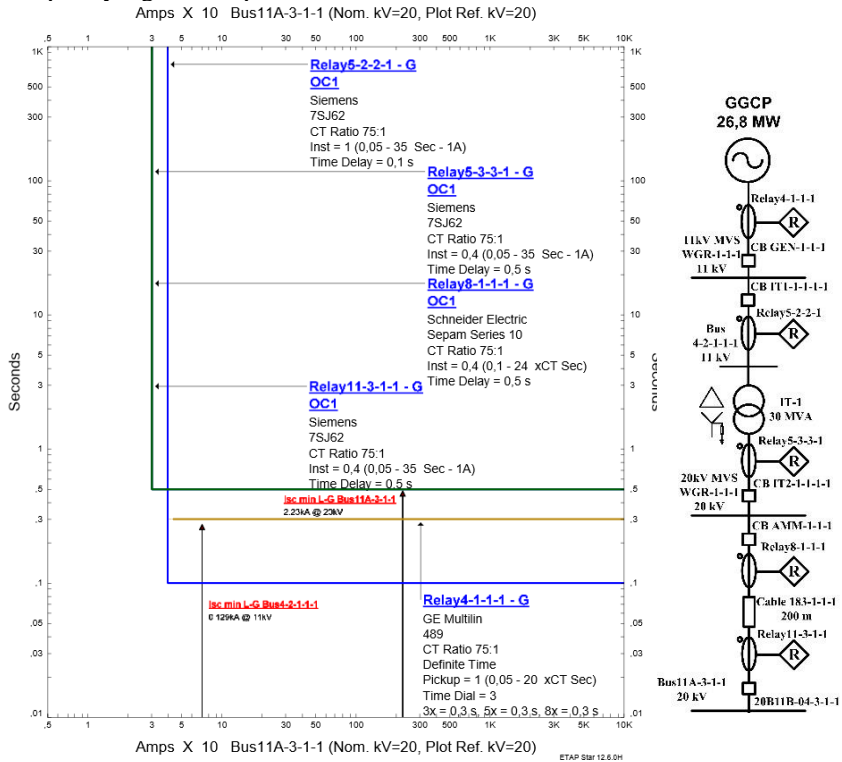
$$T = M \times 100 \text{ ms}$$

$$300 \text{ ms} = M \times 100 \text{ ms}$$

$$M = 3$$

Dipilih time dial = 3

Selanjutnya, setelah rele *disetting* sesuai dengan perhitungan di atas, kemudian rele – rele tersebut diplot *time current curve*-nya menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Sehingga menghasilkan kurva seperti yang terlihat pada Gambar 4.15 di bawah ini :



**Gambar 4.15 Time Current Curve Rele Ground Tipikal 1B**

Pada Gambar 4.15, *time current curve* rele *ground* tipikal 1B, terlihat bahwa apabila terjadi gangguan minimum *line to ground* pada bus 4-2-1-1-1, maka rele *ground* 5-2-2-1 akan bekerja dalam waktu 0,1 s. Kemudian rele 4-1-1-1 *ground* akan berfungsi sebagai rele *backup* nya. Dan apabila terjadi gangguan minimum *line to ground* pada bus11A-3-1-1 maka rele *ground* 11-3-1-1, rele *ground* 8-1-1-1, dan rele *ground* 5-3-3-1 akan bekerja bersamaan dalam waktu 0,5 s. Pemilihan

waktu *delay* 0,5 s karena mempertimbangkan rele yang melindungi *grid* Petrokimia. Karena prioritas sistem kelistrikan ini adalah generator GGCP. Sehingga waktu *delay* untuk proteksi GGCP lebih lama dari pada *grid* Petrokimia. Seperti terlihat pada Tabel 4.12 di bawah ini :

**Tabel 4.12 Sequence Viewer gangguan L-G pada bus 11A-3-1-1**

<i>Line to Ground (Symmetrical) fault on bus: Bus11A-3-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
1.	500	Relay5-3-3-1	0,036	500	Ground-OC1-50
2.	500	Relay8-1-1-1	0,036	500	Ground-OC1-50
3.	500	Relay11-3-1-1	0,036	500	Ground-OC1-50
4.	570	20B11B-04-3-1-1		70,0	Tripped by Relay11-3-1-1 Ground-OC1-50
5.	570	CB AMM-1-1-1		70,0	Tripped by Relay8-1-1-1 Ground-OC1-50
6.	570	CB IT2-1-1-1-1		70,0	Tripped by Relay5-3-3-1 Ground-OC1-50

Dan pada Tabel 4.13 di bawah ini adalah *sequence viewer* apabila terjadi gangguan L-G pada bus di atas trafo IT-1-1-1-1 (bus 4-2-1-1-1). Yang bekerja sebagai rele utamanya adalah rele *ground* 5-2-2-1 bekerja dengan waktu 100 ms. Kemudian sebagai rele *backupnya* adalah rele 4-1-1-1 bekerja dengan waktu 300 ms (rele 51 yang bekerja, dengan kurva *definite*). Seperti terlihat pada Tabel 4.13 di bawah ini :

**Tabel 4.13 Sequence Viewer gangguan L-G pada bus 4-2-1-1-1**

<i>Line to Ground (Symmetrical) fault on bus: Bus4-2-1-1-1</i>					
No.	Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition
1.	100	Relay5-2-2-1	0,198	100	Ground-OC1-50
2.	170	CB IT-1-1-1-1		70,0	Tripped by Relay5-2-12-1 Ground-OC1-50
3.	300	Relay4-1-1-1	0,198	300	Ground-OC1-50
4.	370	CB GEN-1-1-1		70,0	Tripped by Relay11-3-1-1 Ground-OC1-51

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan *setting* koordinasi proteksi untuk Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk mempermudah *setting* koordinasi proteksi dibuat tiga tipikal yang mewakili seluruh sistem kelistrikan Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik. Tipikal ini dibuat berdasarkan beban terbesar, saluran terpanjang dari sumber ke beban, saluran terpendek dari sumber ke beban. Serta saluran dari sumber menuju *grid* Petrokimia yang terinterkoneksi dengan Petro Raya.
2. *Grading time* yang digunakan untuk *setting* koordinasi proteksi adalah 0,2 s. Pemilihan *grading time* 0,2 s karena sesuai dengan *range* yang dianjurkan oleh IEE-242 *grading time* harus dalam *range* 0,2 s – 0,4 s. Selain itu pemilihan *grading time* 0,2 s dianggap sudah mencukupi waktu untuk rele pengaman utama bekerja sehingga tidak akan bekerja bersamaan dengan rele *backupnya*. Sehingga menghasilkan koordinasi yang benar. Misalnya pada tipikal 1, rele 61-3-1-1 dengan rele 13-3-1-1 memiliki *grading time* 0,2 s (dapat dilihat pada tabel 4.1).
3. Setelah dilakukan *setting* koordinasi proteksi, dapat dilihat pada kurva TCC (*Time Current Curve*) bahwa rele sudah terkoordinasi dengan benar sesuai dengan standart IEE-242.

#### **5.2 Saran**

Setelah dilakukan *setting* koordinasi proteksi, maka ada beberapa saran yang dapat dipertimbangkan, yaitu sebagai berikut :

1. Hasil *setting* koordinasi proteksi tugas akhir ini dapat dipergunakan sebagai bahan pertimbangan *setting* rele pada sistem kelistrikan di Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik

***----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----***

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Handout Presentation* PT. Petrokimia Gresik
- [2] Wahyudi, "**Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik**", Teknik Elektro ITS, Surabaya
- [3] *Standart IEC 60909-0, "Short-Circuit Currents in Three-Phase AC Systems", First Edition*, 2001
- [4] Preve, Christophe, "*Protection of Electrical Networks*", ISTE Ltd., London, *Great Britain and The United State*, 2006
- [5] S. Andri Murtopo, "**Analisis Kestabilan Transien dan Koordinasi Proteksi pada PT. Kaltim Methanol Industri Akibat Integrasi degan Sistem 11 kV PT. Kaltim Daya Mandiri**", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya, 2015.
- [6] Soeprijanto, Adi, "**Diktat Kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik Jilid 2**", Teknik Elektro ITS, Surabaya
- [7] Anderson, P.M, "*Power System Protection*", John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1998
- [8] IEEE Std 242-2001, *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*
- [9] *Datasheet* Siemens 7SJ62
- [10] *Datasheet* Schneider Electric Sepam Series 10
- [11] *Datasheet* GE Multilin 489

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----





----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Shofia Kholisatus Sa'adah  
TTL : Kediri, 24 Januari 1994  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Agama : Islam  
Alamat : Jalan Kyai Doko No. 230  
Desa Doko, Kec. Ngasem,  
Kab. Kediri  
Telp/HP : 082233812656  
E-mail : shofiakholisatus@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2000 – 2006 : SD Negeri Banjaran V Kediri
2. 2006 – 2009 : SMP Negeri 1 Kediri
3. 2009 – 2012 : SMA Negeri 2 Kediri
4. 2012 – 2015 : D3 Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektro Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
5. 2015 – 2017 : Lintas Jalur S1 Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

### PENGALAMAN KERJA PRAKTEK

1. Kerja Praktek di PLTA Selorejo Ngantang, Malang, Jawa Timur
2. Kerja Praktek di PG. Pesantren Kediri
3. Kerja Praktek di PT. Petrokimia Gresik

### PENGALAMAN ORGANISASI

1. Staff Departemen Dalam Negeri Periode 2013/2014  
HIMAD3TEKTRO, FTI - ITS
2. Kabiro Departemen Dalam Negeri Periode 2014/2015  
HIMAD3TEKTRO, FTI - ITS

***----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----***